

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005 年 9 月 15 日 (15.09.2005)

PCT

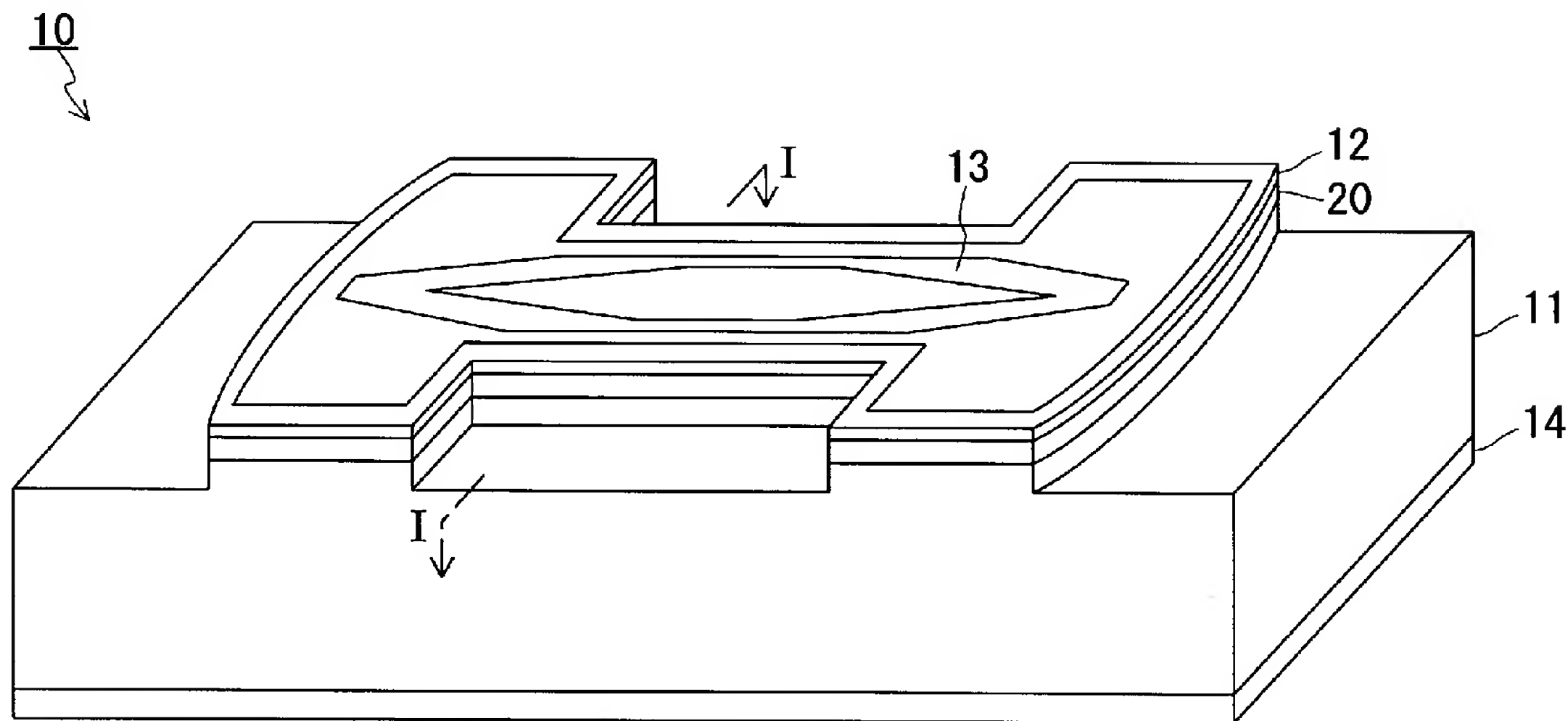
(10) 国際公開番号  
WO 2005/085759 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: G01C 19/66
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/003525
- (22) 国際出願日: 2005 年 3 月 2 日 (02.03.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2004-059402 2004 年 3 月 3 日 (03.03.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 (ADVANCED TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE INTERNATIONAL) [JP/JP]; 〒6190288 京都府相楽郡精華町光台二丁目 2 番地 2 Kyoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 原山卓久 (HARAYAMA, Takahisa) [JP/JP]; 〒6190288 京都府相楽郡精華町光台二丁目 2 番地 2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内 Kyoto (JP). 福嶋 丈浩 (FUKUSHIMA, Takehiro) [JP/JP]; 〒6190288 京都府相楽郡精華町光台二丁目 2 番地 2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 鎌田耕一, 外 (KAMADA, Koichi et al.); 〒5300047 大阪府大阪市北区西天満 4 丁目 3 番 1 号 トモエマリオンビル 7 階 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: GYRO EMPLOYING SEMICONDUCTOR LASER

(54) 発明の名称: 半導体レーザを用いたジャイロ



(57) Abstract: A semiconductor laser gyro comprising a semiconductor laser (10) emitting first and second laser lights and a photodetector which is located at such a position that interference fringes are formed by the first and second laser lights. The semiconductor laser (10) comprises an active layer, and first and second electrodes (13, 14) for injecting carriers into the active layer. The first laser light is a part of laser light (L1) circulating on a polygonal passage in the active layer, and the second laser light is a part of laser light (L2) circulating on that passage reversely to the first laser light (L1).

(57) 要約: 第 1 および第 2 のレーザ光を出射する半導体レーザ 10 と光検出器とを備える半導体レーザジャイロであって、光検出器は、前記第 1 および第 2 のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置されている。半導体レーザ 10 は、活性層と活性層にキャリアを注入するための第 1 および第 2 の電極 13 および 14 とを備える。第 1 のレーザ光は、活性層内において多角形の経路上を周回するレーザ光 (L1) の一部が出射されたレーザ光であり、第 2 のレーザ光は、上記経路上をレーザ光 (L1) とは逆の方向に周回するレーザ光 (L2) の一部が出射されたレーザ光である。



ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

— すべての指定国のための先の出願に基づく優先権を主張する出願人の資格に関する申立て(規則4.17(iii))

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 半導体レーザを用いたジャイロ

## 技術分野

[0001] 本発明は、半導体レーザを用いたジャイロに関する。

## 背景技術

[0002] 回転する物体の角速度を検出するためのジャイロの中でも、光ジャイロは精度が高いという特徴を有する。光ジャイロでは、環状の光路を互いに逆方向に進む2つのレーザ光の周波数差を用いて角速度の検出を行う。このような光ジャイロとして、希ガスレーザを用いた光ジャイロが提案されている(たとえば特開平11-351881号公報参照)。これらの光ジャイロでは、同じ経路を互いに逆方向に周回するレーザ光を取り出して干渉縞を形成させる。これらの光ジャイロの一般的な構成を図16に示す。図16の光ジャイロにおいて、干渉縞は、以下の式(1)で表される。

[0003] [数1]

$$I = I_0 \left[ 1 + \cos \left( \frac{2\pi \varepsilon \chi}{\lambda} + 2\pi \Delta \omega t + \phi \right) \right] \cdots (1)$$

[0004] ここで、 $I_0$ はレーザ光の光強度であり、 $\lambda$ はレーザ光の波長である。また、 $\varepsilon$ は図16に示す角度であり、 $\chi$ は図16に示すX方向の座標である。 $\Delta \omega$ は、ジャイロが回転したときの時計回りのモードと反時計回りのモードとの周波数差であり、 $t$ は時刻である。 $\Delta \omega$ はジャイロの回転の角速度 $\Omega$ と比例関係にある。すなわち、 $\Delta \omega = 4A \Omega / (L \lambda)$ である。ここで、 $A$ はリング形状の囲む面積であり、 $L$ は光路長である。 $\phi$ は、2つのレーザ光の初期の位相差を示す。このジャイロでは、干渉縞の移動速度および移動方向を検出することによって、ジャイロの回転速度および回転方向が検出される。しかし、希ガスレーザを用いた光ジャイロは、駆動に高電圧が必要で消費電力が大きいという課題、および、装置が大きく熱に弱いという課題を有していた。

[0005] このような課題を解決するジャイロとして、環状(三角環状や四角環状)の導波路を備える半導体リングレーザを用いたジャイロが提案されている(たとえば特開2000-2

30831号公報参照)。このジャイロで用いられている半導体レーザは、ほぼ一定の幅の環状の導波路を備える。そして、その環状の導波路を互いに反対方向に周回する2つのレーザ光を外部に取り出して、その干渉縞を検出する。しかしながら、細い導波路を用いて閉じこめられたレーザ光は、導波路の外部に出射する際に大きく広がってしまうため、実際に干渉縞を精度よく検出することは困難である。そのため、半導体レーザを用いるジャイロでは、半導体レーザの2つの電極間の電圧変化から、2つのレーザ光の周波数差に対応するビート周波数を検出するジャイロ(たとえば特開平4-174317号公報参照)や、共振器の端面からしみだしたエバネッセント光を用いてビート周波数を検出するジャイロ(たとえば特開2000-121367号公報参照)が一般的である。

[0006] しかしながら、ビート周波数を検出するジャイロでは、回転方向の検出に特別な装置が必要となる。

#### 発明の開示

[0007] このような状況に鑑み、本発明は、新規な構造の半導体レーザを用いることによって、半導体レーザを用いた従来のジャイロよりも精度よく簡単に回転を検出できる半導体レーザジャイロを提供することを目的の1つとする。

[0008] 本発明者らは、特別な構造の半導体レーザによって特別なレーザ光を励起できることを見出した。この半導体レーザでは、菱形の経路を互いに逆方向に進む2つのレーザ光が励起される。この2つのレーザ光は、それぞれよくコリメートされた状態で半導体レーザから外部に出射され、明瞭な干渉縞を形成する。本発明は、この新たな知見に基づくものである。

[0009] 本発明の半導体レーザジャイロ(または半導体レーザジャイロ素子)は、第1および第2のレーザ光を出射する半導体レーザと光検出器とを備える半導体レーザジャイロであって、前記光検出器は、前記第1および第2のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置されており、前記半導体レーザは、活性層と前記活性層にキャリアを注入するための第1および第2の電極とを備え、前記第1のレーザ光は、前記活性層内において多角形の経路上を周回するレーザ光(L1)の一部が出射されたレーザ光であり、前記第2のレーザ光は、前記経路上を前記レーザ光(L1)とは逆の方向に周

回するレーザ光(L2)の一部が出射されたレーザ光である。

- [0010] 本発明によれば、高精度で小型の半導体レーザジャイロを実現できる。本発明のジャイロでは、特別な構造の半導体レーザを用いており、この半導体レーザからは、環状の光路を互いに逆方向に進行する2つのレーザ光が、よくコリメートされた状態で出射される。また、この半導体レーザでは、出射端面におけるレーザ光の劣化が小さい。そのため、2つのレーザ光によって明瞭な干渉縞が形成され、精度よく回転速度(角速度)を検出できる。また、本発明のジャイロによれば、2つ以上の受光素子で干渉縞の移動を観測することによって、回転速度および回転方向を簡単に算出できる。これらの検出には、希ガスレーザを用いた従来の光ジャイロで用いられている回路と類似の回路を適用できるため、本発明のジャイロは様々な機器への応用が容易である。

#### 図面の簡単な説明

- [0011] [図1]図1は、本発明の半導体レーザジャイロに用いられる半導体レーザの一例を模式的に示す斜視図である。
- [図2]図2は、図1に示した半導体レーザを模式的に示す断面図である。
- [図3]図3は、図1に示した半導体レーザの活性層の平面形状を模式的に示す図である。
- [図4]図4は、図1に示した半導体レーザの機能を説明する図である。
- [図5]図5は、図1に示した半導体レーザの半導体層のバンドギャッププロファイルを模式的に示す図である。
- [図6]図6は、図1に示した半導体レーザの活性層付近の屈折率を模式的に示す図である。
- [図7]図7は、第1の電極の一例を模式的に示す平面図である。
- [図8]図8は、図1に示した半導体レーザから出射されたレーザ光の光強度の角度依存性を示す図である。
- [図9]図9は、図1に示した半導体レーザから出射された2つのレーザ光によって形成された干渉縞を示す図である。
- [図10]図10Aは、本発明の半導体レーザジャイロの一例を模式的に示す全体の斜

視図である。図10Bは、図10Aの要部の斜視図である。

[図11]図11Aは、本発明の半導体レーザジャイロの他の一例を模式的に示す全体の斜視図である。図11Bは、図11Aの要部の斜視図である。

[図12]図12Aは、本発明の半導体レーザジャイロのその他の一例を模式的に示す全体の斜視図である。図12Bは、図12Aの要部の斜視図である。

[図13]図13は、図12に示した半導体レーザジャイロにおけるレーザ光の光路を示す模式図である。

[図14]図14Aは、本発明の半導体レーザジャイロのその他の一例を模式的に示す全体の斜視図である。図14Bは、図14Aの要部の斜視図である。

[図15]図15は、本発明の半導体レーザジャイロで用いられる半導体レーザの製造工程の一例を模式的に示す斜視図である。

[図16]図16は、従来の光ジャイロの構成を模式的に示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0012] 以下、本発明の実施の形態について説明する。なお、以下で説明する半導体レーザジャイロ(半導体レーザジャイロ素子)は本発明の一例であり、本発明は以下の説明に限定されない。また、以下の説明では、同様の部分に同一の符号を付して重複する説明を省略する場合がある。

[0013] 本発明の半導体レーザジャイロは、第1および第2のレーザ光を出射する半導体レーザと光検出器とを備える。光検出器は、第1および第2のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置されている。半導体レーザは、活性層と活性層にキャリアを注入するための第1および第2の電極とを備える。第1のレーザ光は、活性層内において多角形の経路上を周回するレーザ光(L1)の一部が出射されたレーザ光であり、第2のレーザ光は、上記経路上をレーザ光(L1)とは逆の方向に周回するレーザ光(L2)の一部が出射されたレーザ光である。

[0014] 活性層の平面形状は、上記多角形の経路の角部が外縁部に位置するように上記多角形を内包する形状である。活性層に電流が注入されると、光が発生するが、この光は、活性層の端面で反射されるとともに誘導放出を生じる。そして、活性層の平面形状に応じて、特定の経路を安定に周回するレーザ光(L1およびL2)が励起される

。すなわち、活性層は共振器(キャビティ)として機能する。共振器として機能する活性層の端面は、発生した光が所定の形状の経路を周回するように形成される。たとえば、菱形の経路を周回するレーザ光を励起する場合、活性層には、経路(仮想の菱形)の4つの角部のそれぞれに対応する位置に端面(側面)が形成される。活性層およびそれを挟むように配置されるクラッド層は、通常、均一な層であり、上記経路に対応するような一定の幅の導波路は形成されていない。多角形の経路の形状は、活性層の形状によって変化させることができる。多角形の経路の好ましい形状は菱形であるが、他の四角形や三角形であってもよい。

[0015] (半導体レーザ)

まず、本発明のジャイロに用いられる半導体レーザについて説明する。

[0016] 半導体レーザの活性層は、その平面形状が環状(多角環状)でないことが好ましい。環状に形成された細い導波路内に閉じこめられたレーザ光は、出射される際に広がるため、明瞭な干渉縞が形成されない。そのため、活性層の平面形状は実質的に環状でないことが好ましい。この場合、活性層内にキャリアを注入し、2次元方向に広がる活性層を共振器とする特定のモードのレーザ光、具体的には活性層内を周回するレーザ光を得ることができる。このような活性層から出射されるレーザ光は、よくコリメートされており、そのレーザ光強度の半値幅を $10^{\circ}$  以下(たとえば $5^{\circ}$  以下)とすることが可能である。なお、活性層の中央付近に貫通孔が形成されている場合でも、実質的に環状でない活性層、すなわちほぼ一定の幅の導波路が環状に形成されていない活性層であればよい。なお、この明細書において、「平面形状」とは、図3に示される形状、すなわち、半導体層の積層方向と垂直な方向の形状を意味する。

[0017] レーザ光が三角環状や四角環状の経路を周回する従来の半導体レーザを用いたジャイロでは、キャビティ(活性層)の平面形状が、レーザ光の経路に対応する三角環状や四角環状の形状である。これに対して、本発明の活性層の平面形状は多角環状ではなく、レーザ光の経路を含むように2次元的に広がっている。

[0018] 上記多角形の経路は菱形の経路であり、活性層は、上記菱形の経路の第1から第4の角部に対応する位置に形成された第1から第4の端面を有することが好ましい。すなわち、第1から第4の端面上には、それぞれ、菱形の経路の第1から第4の角部

が位置する。この場合、活性層にキャリアを注入することによって、菱形上を周回するレーザ光が励起される。すなわち、レーザ光(L1)は、上記菱形の経路上を周回するレーザ光であり、レーザ光(L2)は、上記菱形の経路上をレーザ光(L1)とは逆の方向に周回するレーザ光である。

[0019] 第1および第2の電極から選ばれる少なくとも1つの電極と半導体レーザを構成する半導体層とが、上記菱形の経路(多角形の経路)に沿って接触することが好ましい。電流は、接触している領域を介して注入される。この構成によれば、活性層のうち上記菱形の経路の部分にキャリアを注入でき、菱形の経路上を周回する2つのレーザ光(L1およびL2)が容易に励起される。典型的な一例では、上記少なくとも1つの電極が、菱形の経路(多角形の経路)に実質的に対応するように半導体層と接触する。これらの場合、上記少なくとも1つの電極と半導体層とが環状に接触していてもよい。なお、この明細書において、「菱形の経路に実質的に対応するように」とは、菱形の経路に完全に対応する場合に加えて、菱形の経路の50%以上(好ましくは、70%以上でより好ましくは90%以上)に対応する場合を含む。また、「環状に接触」とは、接触している領域が実質的に環を形成していればよく、完全に連続した環でなくともよいことを意味している。また、菱形の経路に対応する上記領域の面積は、活性層の平面形状の面積に対して通常50%以下であり、たとえば30%以下である。

[0020] 第1および第2の電極から選ばれる少なくとも1つの電極は、利得が発生する電流を注入する第1の部分と、第1の部分よりも少ない電流を注入する第2の部分とを含んでもよい。第1の部分ではレーザ発振に必要な電流が注入される。第2の部分には、利得が発生しないように弱い電流を注入することによって、菱形の光路以外の方向に進行するレーザ光を減衰させることができる。

[0021] 上記菱形の経路の対向する第1および第2の角部の内角は、第3および第4の角部の内角よりも角度が小さく、第1および第2のレーザ光はともに第1の角部に対応する位置に形成された第1の端面から出射されることが好ましい。より具体的には、第1および第2のレーザ光は、キャビティとして機能する活性層の長手方向の一方端から出射されることが好ましい。第1の角部と第2の角部とを結ぶ対角線と、第1および第2のレーザとは非平行である。

- [0022] 活性層は、レーザ光(L1)およびレーザ光(L2)が第3および第4の端面において全反射する条件を満たすことが好ましい。第1から第4の端面はミラー面として機能するが、第3および第4の端面でレーザ光を全反射させることによって、レーザ発振の閾値を下げることができる。第3および第4の端面においてレーザ光を全反射させるためには、第3および第4の端面と、それに入射するレーザ光(L1およびL2)とがなす角度を、一定以下の角度とすればよい。全反射に必要な角度は、レーザ光の波長と活性層の屈折率とから簡単に導かれる。活性層の端面とレーザ光とがなす角度は、菱形の経路の形状を変化させることによって、すなわち、活性層の平面形状を変化させることによって調節できる。レーザ光の波長や活性層の材質によって好ましい形状は異なるが、第1の角部と第2の角部との距離(菱形の長い方の対角線の長さ)と、第3の角部と第4の角部とを結ぶ距離(菱形の短い方の対角線の長さ)との比は、たとえば、600:190〜600:30の範囲とされる。第1の端面はミラー面ではあるが、活性層内を周回するレーザ光の一部が外部に出射されるように、通常、ミラーコート処理などを行わない。なお、第1の端面には、レーザ光が外部に出射しやすいような処理をしてもよい。また、第2の角部における活性層の端面は、ミラーコート処理がされていることが好ましい。
- [0023] 活性層の第1の端面は、曲面であることが好ましい。特に、第1および第2の端面は、それぞれ、外側に凸の曲面であることが好ましい。この構成によれば、菱形の経路を周回するレーザ光を安定に発生させることができるとともに、第1および第2のレーザ光を第1の端面から安定に出射できる。外側に凸の2つの曲面は、それぞれ、菱形の経路の第1および第2の角部を結ぶ対角線上に中心を有する仮想の円柱の一部と同じ曲面であることが好ましい。なお、第1および第2の端面から選ばれる少なくとも1つを平面または内側に凸の曲面とすることも可能である。
- [0024] 上述した円柱の半径、すなわち、上記第1の端面の曲率半径R1および第2の端面の曲率半径R2は共に、第1の角部と第2の角部との間の距離L以上であることが好ましい。この構成によれば、菱形の光路を周回するレーザ光(L1およびL2)を安定に励起できる。R1およびR2の上限は特に限定はないが、たとえば距離Lの2倍以下である。

- [0025] 活性層は、菱形の経路を含む第1の領域と、第1の領域に隣接する第2の領域とを含むことが好ましい。この場合、第1の領域の平面形状は、略長方形状であることが好ましく、より詳細には、長方形の短辺を外側に凸の曲面とした形状であることが好ましい。この構成では、第1の領域を共振器として菱形の光路を進むレーザ光が励起される。また、この構成によれば、菱形の経路以外の方向に進むレーザ光を第2の領域によって減衰させることができる。
- [0026] 上記第1の領域と第2の領域とによって構成される活性層の平面形状は略H字状（より詳細には、Hを横に伸ばした形状）であることが好ましい（図3参照）。この場合、第1の領域には、4つの第2の領域が隣接する。この場合、第1の角部と第2の角部とを結ぶ対角線に平行な方向における第2の領域の長さ $L_s$ （ $\mu\text{m}$ ）と、第1の角部と第2の角部との距離 $L$ （ $\mu\text{m}$ ）とが、 $L/4 < L_s$ を満たすことが好ましい。また、第3の角部と第4の角部とを結ぶ対角線に平行な方向における第2の領域の長さ $W_s$ （図3参照）は、たとえば、第3の角部と第4の角部とを結ぶ距離 $W$ の1〜3倍の範囲である。
- [0027] 本発明の半導体レーザを構成する半導体および積層構造に特に限定はなく、利用するレーザ光の波長などに応じて選択される。レーザ光（ $L_1$ および $L_2$ ）の波長に特に限定はないが、波長が短い方が高い精度で回転の角速度を検出できる。好ましい波長は、1550nm以下であり、特に好ましくは900nm以下である。半導体層の材料の一例としては、たとえば、III-V族化合物半導体が挙げられる。
- [0028] 以下、本発明で用いられる半導体レーザの好ましい一例について説明する。半導体レーザの一例の斜視図を図1に示し、図1の線I-Iにおける断面図を図2に示す。なお、本発明の説明に用いる図面は模式的なものであり、理解が容易なように各部の縮尺を変更している。
- [0029] 図1の半導体レーザ10は、基板11と、基板11上に形成された半導体層20と、半導体層20上に形成された絶縁層12および第1の電極13と、基板11の裏面側の全面に形成された第2の電極14とを備える。
- [0030] 図2を参照して、半導体層20は、基板11側から順に積層された、バッファ層21、バッファ層22、グレーデッド層23、クラッド層24、グレーデッド層25、活性層26、グレーデッド層27、クラッド層28およびキャップ層29を含む。キャップ層29の上には、パタ

ーニングされた絶縁層12が形成されている。絶縁層12上には、第1の電極13が形成されている。絶縁層12には貫通孔が形成されているため、第1の電極13とキャップ層29とは、貫通孔が形成されている領域31で接触する。

[0031] 半導体レーザ10の活性層26を上方から見たときの平面形状を図3および図4に示す。図4には、第1の電極13と半導体層20(キャップ層29)とが接触している領域31の部分を斜線で示す。なお、半導体層20は、活性層26と同じ平面形状を有する。

[0032] 図3を参照して、活性層26は、菱形の経路32を含む面状に形成された薄膜である。経路32の第1から第4の角部32a〜32dのうち、第1および第2の角部32aおよび32bは、第3および第4の角部32cおよび32dよりも角度が小さい。活性層26は、角部32a〜32dを含むように配置された第1から第4の端面(ミラー面)26a〜26dを有する。第1および第2の端面26aおよび26bは、外側に向かって凸の曲面である。第3および第4の端面26cおよび26dは、フラットな平面である。

[0033] 活性層26は、第1の領域26fと、第1の領域に隣接する4つの第2の領域26sとを備える。第1の領域26fの平面形状は、長方形の短辺を外側に凸の曲面とした形状である。経路32は、第1の領域26f内に形成される。第1の領域26fと第2の領域26sとによって構成される活性層26は、略H字状の形状(より詳しくはHの字を横に引き延ばした形状)をしている。

[0034] 図4を参照して、第1の電極13とキャップ層29とが接触している領域31は、経路32に対応するように、略菱形に形成される。領域31が経路32に完全に対応していないのは、絶縁層12に貫通孔を形成する際に、製造工程上の制限があるためである。経路32に完全に対応するように領域31を公知の方法で菱形に形成することは可能であるが、製造工程が複雑になる。

[0035] 第1の電極13と第2の電極14との間に電圧を印加して活性層26にキャリアを注入すると、活性層26で光が発せられる。この光は、グレーデッド層およびクラッド層によって閉じこめられて主に活性層26内を移動する。そのような光の中で、経路32上を進行する光は、端面26a〜26dによって反射されながら誘導放出を生じる。このため、経路32を光路として周回するレーザ光L1が発生する。同様に、経路32を光路としてレーザ光L1とは反対の方向に周回するレーザ光L2が発生する。レーザ光L1およ

びL2のうちの一部が、第1の端面26aの第1の角部32aから出射され、第1および第2のレーザ光35および36となる(図4参照)。

[0036] レーザ光L1およびL2の損失を少なくするため、端面26bには、誘電体多層膜によるミラーコートがされている。第1の角部32aと第2の角部32bとの間の距離L(図3参照)は $600\mu\text{m}$ であり、第3の角部32cと第4の角部32dとの間の距離Wは $60\mu\text{m}$ である。半導体レーザ10では、端面26cおよび26dにおいて、レーザ光(L1およびL2)が全反射する。

[0037] 4つの第2の領域26sは、第1の領域26fで発生したレーザ光が端面26cおよび26dで多重反射されることによって発生するモードを抑制するために形成される。半導体レーザ10では、第1の角部32aと第2の角部32bとを結ぶ対角線32abに平行な方向における第2の領域26sの長さ $L_s$ (図3参照)が $160\mu\text{m}$ である。一方、 $L/4$ は $150\mu\text{m}$ であり、 $L/4 < L_s$ が満たされるため、上記モードが特に抑制される。また、第3の角部32cと第4の角部32dとを結ぶ対角線32cdの方向における第2の領域26sの長さ $W_s$ は $70\mu\text{m}$ である。

[0038] 端面26aおよび26bの形状は、それぞれ、円柱の曲面の一部の形状である。具体的には、対角線32ab上であって活性層26の表面と垂直に中心軸が配置された円柱の曲面の一部と同じ形状である。その円柱の半径、すなわち端面26aの曲率半径 $R_1$ (図3参照)は $600\mu\text{m}$ であり、端面26bの曲率半径 $R_2$ (図示せず)も同じく $600\mu\text{m}$ である。半導体レーザ10は、対角線32abおよび対角線32cdに対して線対称の形状であり、端面26bは、第3の角部32cと第4の角部32dとを結ぶ対角線32cdに対して端面26aと線対称の形状である。ただし、本発明の半導体レーザは必ずしも線対称の形状ではなくともよく、たとえば、端面26bは、端面26aとは曲率が違う曲面であってもよく、平面であってもよく、内側に凸の曲面であってもよい。

[0039] 基板11、半導体層20、絶縁層12、第1の電極13および第2の電極14の材料および膜厚について、表1に示す。表1において、一部の半導体層については、バンドギャップ $E_g$ と、多数キャリアおよびその濃度についても示す。

[0040] [表1]

| 層         | 組成   | 厚さ<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Eg [eV] | 多数キャリアとその濃度<br>[ $\text{cm}^{-3}$ ] |
|-----------|--|-------------------------|---------|-------------------------------------|
| 第1の電極13   | Au<br>Pt<br>Ti                                     | 0.6<br>0.05<br>0.07     | —       | —                                   |
| 絶縁層12     | $\text{Si}_3\text{N}_4$ または $\text{SiO}_2$         | 0.4                     | —       | —                                   |
| キャップ層29   | Beドーピング形GaAs                                       | 0.2                     | 1.41    | 正孔： $1 \times 10^{19}$              |
| クラッド層28   | Beドーピング形 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ | 1.5                     | 2.0     | 正孔： $10^{18}$ 台                     |
| グレーデッド層27 | Beドーピング形 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$     | 0.202                   |         |                                     |
| 活性層26     | ノンドーピングGaAs  | 0.01                    |         |                                     |
| グレーデッド層25 | Siドーピング形 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$     | 0.202                   |         |                                     |
| クラッド層24   | Siドーピング形 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ | 1.5                     | 2.0     | 電子： $10^{18}$ 台                     |
| グレーデッド層23 | Siドーピング形 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$     | 0.2                     |         | 電子： $10^{18}$ 台                     |
| バッファ層22   | Siドーピング形 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ | 1.0                     | 1.7     | 電子： $1 \times 10^{18}$              |
| バッファ層21   | Siドーピング形GaAs                                       | 0.2                     | 1.41    | 電子： $3 \times 10^{18}$              |
| 基板11      | 単結晶n形GaAs  |                         |         |                                     |
| 第2の電極14   | Ni<br>Ge<br>Au                                     | 0.02<br>0.1<br>0.5      | —       | —                                   |

[0041] なお、第1の電極13および第2の電極14を構成する各層は、熱処理によって合金化されていてもよい。また、表1に示す構成は一例であり、半導体レーザに求められる特性に応じて適宜変更される。

[0042] バッファ層21および22、ならびにグレーデッド層23は、品質が高いIII-V族化合物半導体結晶を得るために形成される。

[0043] グレーデッド層23のアルミニウムの組成比Xは、バッファ層22側からクラッド層24側に向かって徐々に増加する。具体的には、組成比Xは、バッファ層22との界面では0.2であり、クラッド層24との界面では0.5である。

[0044] グレーデッド層25において、ドーパントであるSiの濃度はクラッド層24側から活性層26側に向かって徐々に減少する。具体的には、クラッド層24との界面では約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であり、活性層26との界面では約 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ である。また、グレーデッド層25のアルミニウムの組成比Xも、クラッド層24側から活性層26側に向かって放物線状に減少する。具体的には、組成比Xは、クラッド層24との界面では0.5であり、活性層26との界面では0.2である。

[0045] グレーデッド層27において、ドーパントであるBeの濃度は活性層26側からクラッド

層28側に向かって徐々に増加する。具体的には、活性層26との界面では約 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ であり、クラッド層28との界面では約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ である。また、グレーデッド層27のAlの組成比Xも、活性層26側からクラッド層28側に向かって放物線状に増加する。具体的には、組成比Xは、活性層26との界面では0.2であり、クラッド層28との界面では0.5である。

- [0046] 半導体層20のバンドギャッププロファイルを図5に模式的に示す。グレーデッド層25のバンドギャップは、クラッド層24から活性層26側に向かって2.0eVから1.7eVまで放物線状に減少する。グレーデッド層27のバンドギャップは、活性層26からクラッド層28側に向かって1.7eVから2.0eVまで放物線状に増加する。
- [0047] 半導体レーザ10は、いわゆる単一量子井戸形のレーザであり、2つの電極から注入されたキャリアは活性層26に閉じこめられて低い閾値電流でレーザ発振が開始される。なお、活性層26は、多重量子井戸形などの他の形態であってもよい。
- [0048] クラッド層24ークラッド層28までの屈折率の変化を図6に模式的に示す。クラッド層24、グレーデッド層25、グレーデッド層27およびクラッド層28は、活性層26内に光を閉じこめるために活性層26よりも屈折率が低い材料からなる。活性層26の屈折率が最も高いため、活性層26で発生した光は、主に活性層26に閉じこめられる。
- [0049] なお、半導体レーザ10の第1の電極13は、利得が発生する電流を注入する第1の部分と、第1の部分よりも少ない電流を注入する第2の部分とを含んでもよい。そのような電極と半導体層20(キャップ層29)とが接触する領域の形状と、活性層26の平面形状と、経路32との関係を図7に示す。なお、図7では、第1の部分がキャップ層29と接触する領域31aと、第2の部分がキャップ層29と接触する領域31bとを、ハッチングを付して示している。領域31aは経路32の1つの辺に対応する位置に形成され、領域31bは他の3つの辺に対応する位置に形成される。このような電極は、絶縁層12の形状を変更することによって容易に形成できる。
- [0050] 半導体レーザ10では、注入される電流が閾値電流を超えるとシングルモードの発振を開始する。そして、注入される電流が閾値電流からさらに増加するに従って、発振のモードが、シングルモード、ツインモード、ロッキングモードという順で変化する。シングルモードでは、図4に示すように、第1および第2のレーザ光35および36が出

射される。ツインモードでは、2つのレーザ光が周期的に交互に出射される。ロッキングモードでは、2つのレーザ光のうちの1つのレーザ光のみが出射される。したがって、本発明では、通常、半導体レーザ10をシングルモードで動作させる。具体的には、たとえば、第1の電極13と第4の電極14との間に、200mAの電流を流すことによって、レーザを発振させればよい。なお、本発明のジャイロでは、注入する電流によって発振のモードを変更できることを利用して、特別な機能を付与してもよい。

[0051] 半導体レーザ10をシングルモードで発振させたときのレーザ光の光強度の角度依存性を、第1の端面26aから約300mmの距離で測定した結果を図8に示す。図8に示すように、0° の方向(対角線32abの方向)からの角度がほぼ等しい方向に、強度がほぼ等しい2つのレーザ光が出射された。2つのレーザ光の波長は862nmであった。また、2つのレーザ光の強度の半値幅は、4. 2° であった。また、2つのレーザ光が対角線32abの方向となす角度は、それぞれ約19. 2° であった。このように、半導体レーザ10は、対角32abに対して対称な方向に、強度がほぼ等しく、よくコリメートされた2つのレーザ光を出射した。対角線32abと、第1のレーザ光(または第2のレーザ光)とがなす角度  $\theta$  は、通常、以下の式(2)で表されることが考えられる。

[0052] [数2]

$$\theta = \pm \sin^{-1} \left( \frac{W \cdot n_{\text{eff}}}{\sqrt{L^2 + W^2}} \right) \quad \dots (2)$$

[0053] LおよびWはそれぞれ図3に示される長さであり、 $L = 600 \mu\text{m}$ 、 $W = 60 \mu\text{m}$ である。また、 $n_{\text{eff}}$ は光の閉じ込めを行うクラッド層24ークラッド層28の実効屈折率であり、半導体レーザ10では、約3. 3である。これらの値を用いて  $\theta$  を計算すると、 $\theta = 19. 2^\circ$  となり、実際の結果とよく一致した。上記式に基づけば、第1および第2のレーザ光35および36の出射角度は、活性層の屈折率や、LとWとの比を変化させることによって制御できる。

[0054] 半導体レーザ10から出射された2つのレーザ光は、端面26aの近傍で重なるため、端面26aの近傍で規則正しい干渉縞(余弦波)を生じる。端面26aの近傍で測定した干渉縞を図9に示す。

[0055] (半導体レーザジャイロ)

本発明のジャイロは、第1および第2のレーザで干渉縞が形成された位置に配置された光検出器を備える。光検出器は、干渉縞の移動を検出できるものであれば特に限定がなく、通常は、フォトダイオードやフォトトランジスタといった半導体受光素子が用いられる。光検出器は、干渉縞の光量の強弱に応じた信号を出力する。干渉縞が移動すると、光検出器に入力される光量が周期的に変化するため、干渉縞の移動速度を算出できる。

[0056] 光検出器は、複数の受光素子を備える2チャンネルの光検出器であってもよい。2つ以上の受光素子を干渉縞の移動方向に配置することによって、干渉縞の移動速度に加えて干渉縞の移動方向を検出することができる。干渉縞の移動速度と移動方向とを検出することによって、半導体レーザジャイロの回転方向と回転速度とを算出できる。

[0057] 本発明のジャイロでは、上記半導体レーザと光検出器(受光素子)とが、モノリシックに形成されていてもよい。この場合、半導体レーザと光検出器(たとえばフォトダイオード)とが同じ積層構造を有してもよい。この構成では、半導体レーザと光検出器とを、半導体素子を製造する一連のプロセスで同時に形成できる。そのため、製造が容易であると共に、半導体レーザと光検出器とを正確な配置に形成できる。

[0058] 本発明のジャイロは、レンズをさらに備えてもよい。この場合、光検出器は、レンズを透過した第1および第2のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置される。半導体レーザの半導体層とレンズとは、同じ積層構造を有してもよい。この場合のレンズは、たとえば、平面形状が半円状のレンズであり、レンズとして機能する部分は、半導体レーザの活性層と同じ半導体からなる。そのため、レンズに入射した光は、半導体からなるレンズで吸収されて減衰する。そのような減衰を抑制するために、レンズを構成する積層された半導体層に電流を流してもよい。電流を流すには、たとえば、電極を含めて半導体レーザとレンズとを全く同じ積層構造とすればよい。流す電流は、レーザ発振を生じる電流よりは少ないことが望ましい。電流を流すことによってレンズによる光の減衰を抑制できる。また、レンズによる光の減衰を抑制するために、レーザ光の吸収が少ない材料、たとえば、酸化シリコンなどでレンズを形成してもよい。そ

の場合でも、製造工程は多くなるが、レンズと半導体レーザとを公知の方法でモノリシックに形成できる。

[0059] 本発明のジャイロは、プリズムをさらに備えてもよい。この場合、光検出器は、プリズムを透過した第1および第2のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置される。所定の形状のプリズムを用いることによって、形成される干渉縞の周期長を長くすることができ、干渉縞の移動をより正確に測定できる。

[0060] 半導体レーザジャイロがプリズムを備える場合、半導体レーザとプリズムとがモノリシックに形成されてもよい。また、半導体レーザとプリズムと光検出器とがモノリシックに形成されてもよい。これらの構成によれば、各素子を所定の位置および形状に精度よく形成できる。さらにこの場合、半導体レーザの半導体層とプリズムとが同じ積層構造を有してもよい。また、半導体レーザの半導体層と、光検出器(たとえばフォトダイオード)の半導体層と、プリズムとが同じ積層構造を有してもよい。この構成によれば、半導体レーザを製造する一連のプロセスで、光検出器および／またはプリズムを形成できる。

[0061] なお、プリズムの積層構造を半導体レーザの半導体層と同じ積層構造とした場合、半導体レーザから出射されたレーザ光は、半導体からなるプリズムに入射して減衰する。そのような減衰を抑制するために、プリズムを構成する積層された半導体層に電流を流してもよい。電流を流すには、たとえば、電極を含めて半導体レーザとプリズムとを全く同じ積層構造とすればよい。流す電流は、レーザ発振を生じる電流よりは少ないことが望ましい。電流を流すことによってプリズムによる光の減衰を抑制できる。また、プリズムによる光の減衰を抑制するために、レーザ光の吸収が少ない材料、たとえば、酸化シリコンなどでプリズムを形成してもよい。その場合でも、製造工程は多くなるが、プリズムと半導体レーザとを公知の方法でモノリシックに形成できる。

[0062] 図4を参照しながら、サニャック効果(sagnac効果)を利用した本発明の半導体レーザジャイロの原理を簡単に説明する。半導体レーザ10が回転すると、レーザ光L1とレーザ光L2とでは、経路32の光路を一周するのに要する時間が変化する。光の速度は一定であるため、半導体レーザ10が回転すると、レーザ光L1とレーザ光L2との間で周波数差が生じ、その周波数差に応じた速度で干渉縞が移動する。干渉縞の

移動方向は、半導体レーザ10の回転方向に応じて変化する。このため、干渉縞の移動速度を測定することによって、半導体レーザ10の回転速度(角速度)を算出でき、干渉縞の移動方向を検出することによって半導体レーザの回転方向を検出できる。より具体的には、活性層26の表面と平行な面内における回転方向と回転速度とを算出できる。上述したように、このような光ジャイロの原理は公知の原理であり、希ガスレーザを用いた光ジャイロなどで利用されている。したがって、本発明の半導体レーザジャイロは、公知の駆動回路で駆動でき、ジャイロによって得られた情報は公知の方法で処理できる。なお、本発明の半導体レーザジャイロを3つ組み合わせることによって、全方向における回転方向と回転速度とを算出することが可能である。

[0063] 以下、本発明の半導体レーザジャイロについて、例を挙げて説明する。なお、以下の実施形態では、第1の電極13が図7に示した電極である場合について示しているが、第1の電極13は図1および図4に示した電極であってもよい。

[0064] (実施形態1)

実施形態1では、半導体レーザと光検出器とがモノリシックに形成されている半導体レーザジャイロの一例について説明する。実施形態1のジャイロ101の斜視図を図10Aに示す。また、半導体レーザジャイロ101の半導体レーザ10および光検出器113(受光素子113aおよび113b)がモノリシックに形成された基板11の斜視図を図10Bに示す。なお、図10Aでは、カバー111の一部を切断して内部を解放した状態を示している(以下の図においても同様である)。

[0065] 図10Aを参照して、ジャイロ101の主要部は、カバー111とステム112とによってパッケージ(いわゆるCANパッケージ)されている。ジャイロ101は、ステム112と、ステム112上に配置された基板11とを備える。半導体レーザ10と受光素子113aおよび113bとは、基板11を共有してモノリシックに形成されている。ステム112は、5本の電極114で支持されている。5本の電極のうちの4つは、それぞれ、半導体レーザ10の第1の電極13の第1の部分13a、第2の部分13b、受光素子113a、および受光素子113bに接続されている。5本の電極のうちの残りの1つは、上記4つの電極と対になる接地電極である。なお、電極114の接続方法は一例であり、本発明はこれに限定されない。円形のステム112の直径に限定はないが、規格で決められたサイズ、たとえ

ば直径5.6mmとすることができる。

[0066] 受光素子113aおよび113bはフォトダイオードであり、半導体レーザ10と同じ積層構造を有する。受光素子113aおよび113bは、半導体レーザ10を形成する製造工程で半導体レーザ10とともに形成される。

[0067] 受光素子113aおよび113bは、図9に示したような干渉縞の移動方向および移動速度を検出するために、レーザ光が出射される第1の端面26aに近接して配置される。なお、干渉縞の移動速度を精度よく検出するために、光検出器の受光領域のサイズは、干渉縞の周期長や、光検出器の受光感度を考慮して決定される。通常、受光領域のサイズは、干渉縞の周期長の5分の1程度以下とすることが好ましい。

[0068] 実施形態1の半導体レーザジャイロ101は、プリズムやレンズなどの光学素子を必要としないという利点がある。一方、半導体レーザジャイロ101を得るには、微細な受光素子113aおよび113bを形成する必要がある。

[0069] (実施形態2)

実施形態2では、レンズを備える半導体レーザジャイロの一例について説明する。実施形態2のジャイロ102の斜視図を図11Aに示す。また、ジャイロ102で用いられる半導体レーザ10の斜視図を図11Bに示す。

[0070] ジャイロ102は、半導体レーザ10と、球面レンズ115と、光検出器116とを備える。光検出器116は、2つの受光素子を備える2チャンネルの光検出器である。ジャイロ102は5本の電極114を備えている。電極114はジャイロ101と同様に接続される。

[0071] 球面レンズ115は、その焦点が、レーザ光の出射部(端面26a)の近傍に位置するように配置される。また、光検出器116は、端面26aから一定の距離(たとえば数センチメートル)離れた位置に配置される。したがって、ジャイロ102の一例のサイズは、3cm×2cm×1cm程度である。

[0072] 端面26aから出射される2つのレーザ光は、球面レンズ115で略平行な光となり、重なり合って干渉縞を生じる。球面レンズ115を用いることによって干渉縞の周期長を長くできるため、ジャイロ102では、干渉縞の移動を正確に測定できる。

[0073] なお、球面レンズ115は、球状に限らず、薄膜などの他の形状であってもよい。たとえば、平面形状が半円状の薄膜状レンズを用いてもよい。この場合、レンズを基板1

1上にモノリシックに形成してもよい。レンズの材料としては、 $\text{SiO}_2$ などの透明材料を用いることができるが、半導体を用いてもよい。たとえば、半導体レーザの半導体層とレンズとは同じ積層構造を有してもよい。

[0074] (実施形態3)

実施形態3では、半導体レーザとプリズムとがモノリシックに形成されている半導体レーザジャイロの一例について説明する。実施形態3のジャイロ103の斜視図を図12Aに示す。また、半導体レーザ10およびプリズム117が形成された基板11の斜視図を図12Bに示す。

[0075] ジャイロ103は、ステム112と、ステム112上に配置された半導体レーザ10および2チャンネルの光検出器116と、基板11上に形成されたプリズム117とを備える。プリズム117は半導体レーザ10の半導体層20と同じ積層構造を有し、半導体レーザ10とモノリシックに形成されている。そのため、プリズム117は、半導体層20を形成する際に同時に形成できる。

[0076] ジャイロ103における2つのレーザ光の光路を図13に模式的に示す。半導体レーザ10から出射された2つのレーザ光は、プリズム117で重ね合わされて干渉縞を生じる。干渉縞の移動は、光検出器116の2つの受光素子116aおよび116bによって観測される。干渉縞は、ジャイロ103の回転速度に応じた速度で矢印の方向に移動する。干渉縞の移動方向は、ジャイロ103の回転方向に対応して変化する。

[0077] プリズム117の形状は、入射する2つのレーザ光の角度や間隔、および光検出器116との距離などの条件に応じて決定される。干渉縞の周期長を長くするために、プリズム117の断面形状である三角形の最も大きい角は $90^\circ$  ( $0.5\pi$ ラジアン)よりも僅かに大きいことが好ましい。その角の角度を $(0.5\pi + \varepsilon)$ ラジアンとすると、 $\varepsilon$ は、 $0.5$ ラジアン以下であることが好ましい。

[0078] (実施形態4)

実施形態4では、半導体レーザとプリズムと光検出器とがモノリシックに形成されている半導体レーザジャイロの一例について説明する。実施形態4のジャイロ104の斜視図を図14Aに示し、主要部の斜視図を図14Bに示す。

[0079] 半導体レーザ10と、プリズム117と、光検出器113(受光素子113aおよび113b)と

は、基板11上にモノリシックに形成されている。ジャイロ104では、図13と同様の光路を進む2つのレーザ光で干渉縞が形成される。

[0080] 半導体レーザ10の半導体層20と、受光素子113aおよび113bの半導体層と、プリズム117とは、同じ積層構造を有する。これらは、半導体層20を形成する過程で同時に形成できるため、製造が容易である。また、これらは半導体プロセスで形成できるため、正確な位置および形状に形成できる。なお、プリズム117だけを他の材料、たとえば $\text{SiO}_2$ などで形成することも可能である。

[0081] (半導体レーザジャイロの製造方法)

本発明のジャイロで用いられる半導体レーザの製造方法に限定はなく、公知の半導体製造技術によって製造できる。また、本発明のジャイロは、半導体レーザと他の部材とを公知の技術で組み立てることによって容易に製造できる。以下に、半導体レーザ10を製造する方法の一例を説明する。

[0082] 図15(a)～(h)に、製造工程を模式的に示す。なお、図15(a)～(h)では、絶縁層12の形成状態の理解を容易にするため、絶縁層12の表面にハッチングを付す。

[0083] まず、図15(a)に示すように、基板11上に、複数の半導体層からなる半導体層20aと、厚さ $0.4\mu\text{m}$ の絶縁層12aとを形成する。半導体層20aは、エッチングによって半導体層20(図2および表1参照)となる層である。半導体層20aを構成する各層は、一般的な方法、たとえば、MBE(Molecular Beam Epitaxy)法やCVD(Chemical Vapor Deposition)法で形成できる。絶縁層12aは、たとえば $\text{Si}_3\text{N}_4$ や $\text{SiO}_2$ からなる。絶縁層12aは、スパッタリング法やCVD法といった方法で形成できる。

[0084] 次に、図15(b)に示すように、絶縁層12a上に、パターニングされたレジスト膜151を形成する。レジスト膜151は、図3に示した活性層26の形状にパターニングする。

[0085] 次に、図15(c)に示すように、レジスト膜151をマスクとして、絶縁層12aと半導体層20aと基板11の一部とをエッチングしたのち、レジスト膜151を除去する。エッチングは、RIE(Reactive Ion Etching)法によって行い、少なくともクラッド層24の深さまでエッチングする。エッチングによって、所定の形状の絶縁層12および半導体層20が形成される。エッチングは、半導体層20の側面の垂直性および平滑性が高くなるような条件で行われる。そのような条件は、半導体製造プロセスで一般的に採用さ

れている。エッチングによって、半導体層20を構成するすべての半導体層の平面形状は、図3に示した活性層26の平面形状と同じになる。また、半導体層20の側面はミラー面として機能する。

[0086] 次に、図15(d)に示すように、領域31(図2および図4参照)に対応するように、絶縁層12に略菱形の貫通孔12hを形成する。貫通孔12hは、一般的なフォトリソ・エッチング工程で形成できる。

[0087] 次に、図15(e)に示すように、基板11の表面全体を覆うようにレジスト膜152を形成する。このとき、基板11の表面と絶縁層12の表面との間の段差を埋めるために、レジスト膜152は、レジスト層152aおよびレジスト層152bの2層からなることが好ましい。レジスト膜152は、レジスト層152aを基板11の表面全体に塗布して段差を埋めたのち、レジスト層152bを塗布することによって形成できる。この方法によれば、表面の平坦性が高いレジスト膜152を形成できる。

[0088] 次に、図15(f)に示すように、レジスト膜152をパターニングし、レジスト膜152に貫通孔152hを形成する。貫通孔152hは、第1の電極13を形成する領域に対応する形状に形成される。貫通孔152hを形成したのち、半導体層20(キャップ層29)と第1の電極13との間で良好なコンタクトが得られるように、貫通孔152h内の半導体層20(キャップ層29)の表面を $0.01\mu\text{m}$ 〜 $0.02\mu\text{m}$ 程度エッチングする。

[0089] 次に、図15(g)に示すように、第1の電極13を形成する。第1の電極13は、リフトオフ法で形成できる。具体的には、まず、レジスト膜152をマスクとして、第1の電極13を構成する複数の金属層を電子ビーム法で順次成膜する。その後、レジスト膜152をアセトンで除去する。このようにして、所定の形状の第1の電極13を形成できる。第1の電極13は、絶縁層12に形成された貫通孔12hを介して半導体層20(キャップ層29)に接触する。

[0090] 1枚の基板11(ウェハ)を用いて多数の半導体レーザを形成する場合、基板11のへき開を容易にするため、基板11の厚さが $100\sim 150\mu\text{m}$ になるように基板11の裏面を研磨することが好ましい。

[0091] 次に、図15(h)に示すように、基板11の裏面側に複数の金属層を蒸着法で順次形成して第2の電極14を形成する。その後、第1の電極13および第2の電極14を構

成する金属層を合金化するために、400〜450℃で熱処理する。最後に、必要に応じて、半導体レーザごとに基板11をへき開する。

[0092] このようにして、半導体レーザ10が形成される。なお、半導体レーザ10と同じ積層構造を有するフォトダイオードをモノリシックに形成する場合には、半導体レーザを形成する部分とフォトダイオードを形成する部分とに対応するように、レジスト膜151および152をパターニングすればよい。同様に、半導体レーザの半導体層と同様の積層構造を有するプリズムを形成する場合には、半導体レーザを形成する部分とプリズムを形成する部分とに対応するようにレジスト膜151をパターニングすればよい。

[0093] なお、基板11には、光検出器およびプリズム以外の、他の光学素子や電子部品を形成してもよい。たとえば、半導体レーザを駆動するための駆動回路や、光検出器から出力された信号を処理するための回路を形成してもよい。また、本発明の半導体レーザジャイロに、従来のジャイロに用いられている公知の技術をさらに適用してもよい。

#### 産業上の利用可能性

[0094] 本発明の半導体レーザジャイロは、物体の回転の検出が必要な様々な機器に適用できる。代表的な例としては、姿勢制御装置やナビゲーション装置、手ぶれ補正装置に利用できる。具体的には、本発明のジャイロは、ロケットや飛行機などの航空機、自動車やバイクといった移動手段に利用できる。また、本発明のジャイロは超小型で取り扱いが容易であるという利点を生かし、携帯電話や小型のパーソナルコンピュータといった携帯情報端末、玩具、カメラなどに利用できる。

## 請求の範囲

- [1] 第1および第2のレーザ光を出射する半導体レーザと光検出器とを備える半導体レーザジャイロであって、
- 前記光検出器は、前記第1および第2のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置されており、
- 前記半導体レーザは、活性層と前記活性層にキャリアを注入するための第1および第2の電極とを備え、
- 前記第1のレーザ光は、前記活性層内において多角形の経路上を周回するレーザ光(L1)の一部が出射されたレーザ光であり、
- 前記第2のレーザ光は、前記経路上を前記レーザ光(L1)とは逆の方向に周回するレーザ光(L2)の一部が出射されたレーザ光である半導体レーザジャイロ。
- [2] 前記活性層の平面形状が環状ではない請求項1に記載の半導体レーザジャイロ。
- [3] 前記多角形の経路は菱形の経路であり、
- 前記活性層は、前記菱形の経路の第1から第4の角部に対応する位置に形成された第1から第4の端面を有する請求項2に記載の半導体レーザジャイロ。
- [4] 前記第1および第2の電極から選ばれる少なくとも1つの電極と前記半導体レーザを構成する半導体層とが、前記菱形の経路に沿って接触する請求項3に記載の半導体レーザジャイロ。
- [5] 前記菱形の経路の対向する前記第1および第2の角部の内角は、前記第3および第4の角部の内角よりも角度が小さく、
- 前記第1および第2のレーザ光はともに前記第1の角部に対応する位置に形成された前記第1の端面から出射される請求項3に記載の半導体レーザジャイロ。
- [6] 前記第1の角部と前記第2の角部とを結ぶ対角線と、前記第1および第2のレーザとが非平行である請求項5に記載の半導体レーザジャイロ。
- [7] 前記活性層は、前記レーザ光(L1)および前記レーザ光(L2)が前記第3および第4の端面において全反射する条件を満たす請求項5に記載の半導体レーザジャイロ。
- [8] 前記第1および第2の端面は、それぞれ、外側に凸の曲面である請求項5に記載の

半導体レーザジャイロ。

- [9] 前記活性層は、前記菱形の経路を含む第1の領域と、前記第1の領域に隣接する第2の領域とを含み、  
前記第1の領域の平面形状は長方形の短辺を外側に凸の曲面とした形状である請求項8に記載の半導体レーザジャイロ。
- [10] 前記第1の領域と前記第2の領域とによって構成される前記活性層の平面形状が略H字状である請求項9に記載の半導体レーザジャイロ。
- [11] 前記第1の角部と前記第2の角部とを結ぶ対角線に平行な方向における前記第2の領域の長さ $L_s$  ( $\mu\text{m}$ )と、前記第1の角部と前記第2の角部との距離 $L$  ( $\mu\text{m}$ )とが、 $L/4 < L_s$ を満たす請求項10に記載の半導体レーザジャイロ。
- [12] 前記光検出器が複数の受光素子を備える請求項3に記載の半導体レーザジャイロ。
- [13] 前記半導体レーザと前記光検出器とが、モノリシックに形成されている請求項3に記載の半導体レーザジャイロ。
- [14] 前記半導体レーザと前記光検出器とが同じ積層構造を有する請求項13に記載の半導体レーザジャイロ。
- [15] レンズをさらに備え、  
前記光検出器は、前記レンズを透過した前記第1および第2のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置されている請求項3に記載の半導体レーザジャイロ。
- [16] 前記半導体レーザと前記レンズとがモノリシックに形成されている請求項15に記載の半導体レーザジャイロ。
- [17] 前記半導体レーザの半導体層と前記レンズとが同じ積層構造を有する請求項16に記載の半導体レーザジャイロ。
- [18] プリズムをさらに備え、  
前記光検出器は、前記プリズムを透過した前記第1および第2のレーザ光によって干渉縞が形成される位置に配置されている請求項3に記載の半導体レーザジャイロ。
- [19] 前記半導体レーザと前記プリズムとがモノリシックに形成されている請求項18に記

載の半導体レーザジャイロ。

- [20] 前記半導体レーザの半導体層と前記プリズムとが同じ積層構造を有する請求項19に記載の半導体レーザジャイロ。
- [21] 前記半導体レーザと前記プリズムと前記光検出器とがモノリシックに形成されている請求項18に記載の半導体レーザジャイロ。
- [22] 前記半導体レーザの半導体層と前記プリズムと前記光検出器の半導体層とが同じ積層構造を有する請求項21に記載の半導体レーザジャイロ。

[図1]

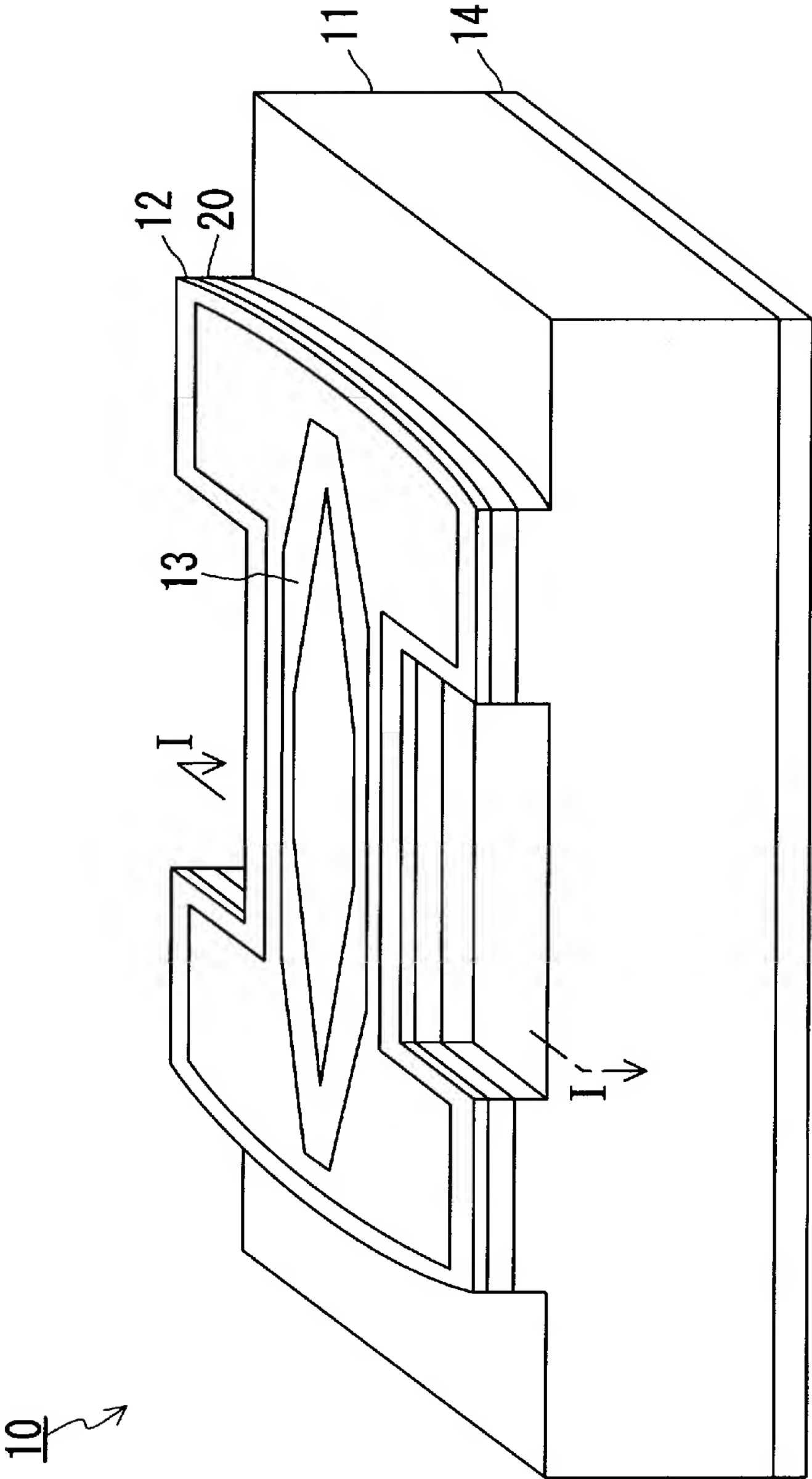
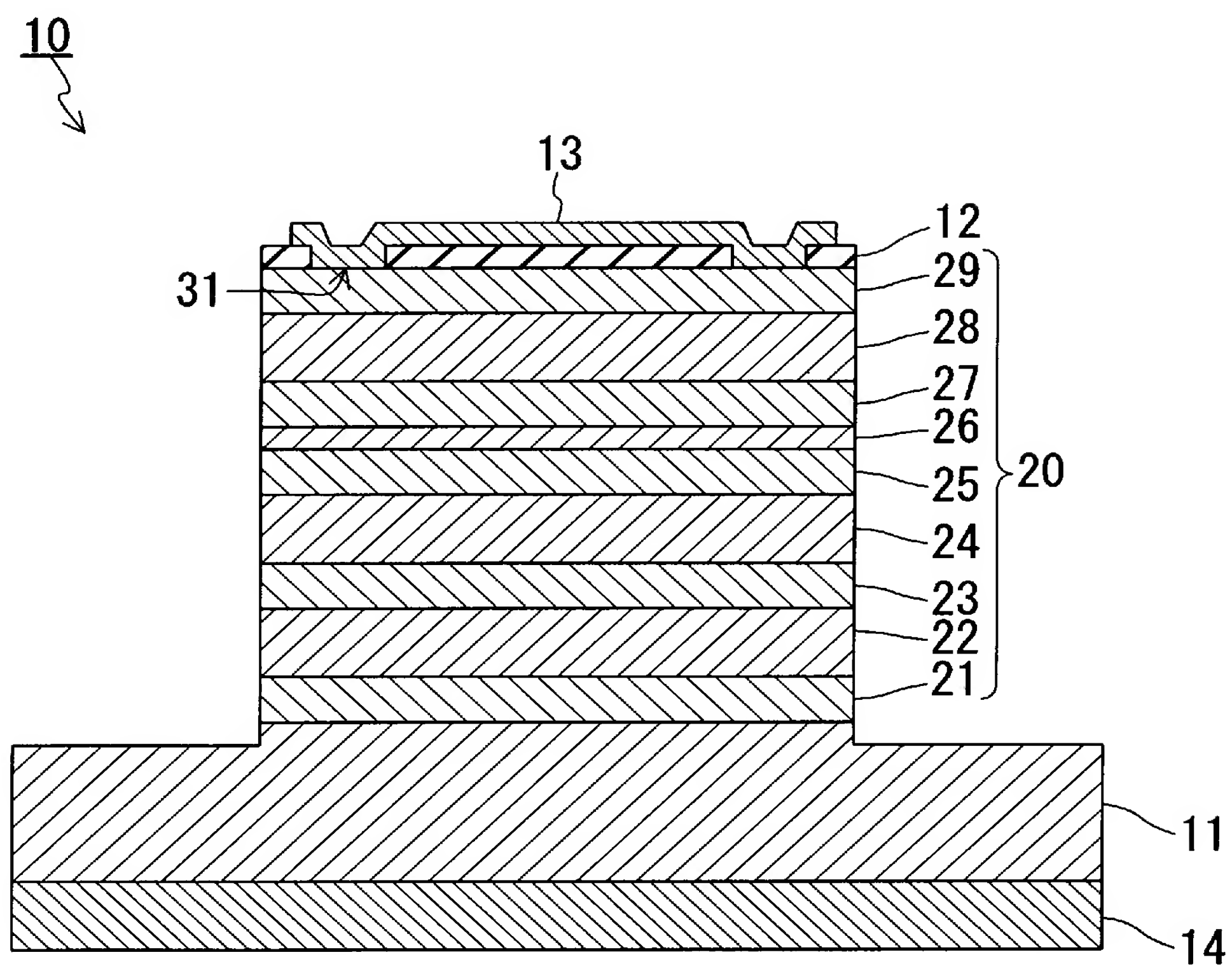


Fig. 1

[図2]



**Fig. 2**

[図3]

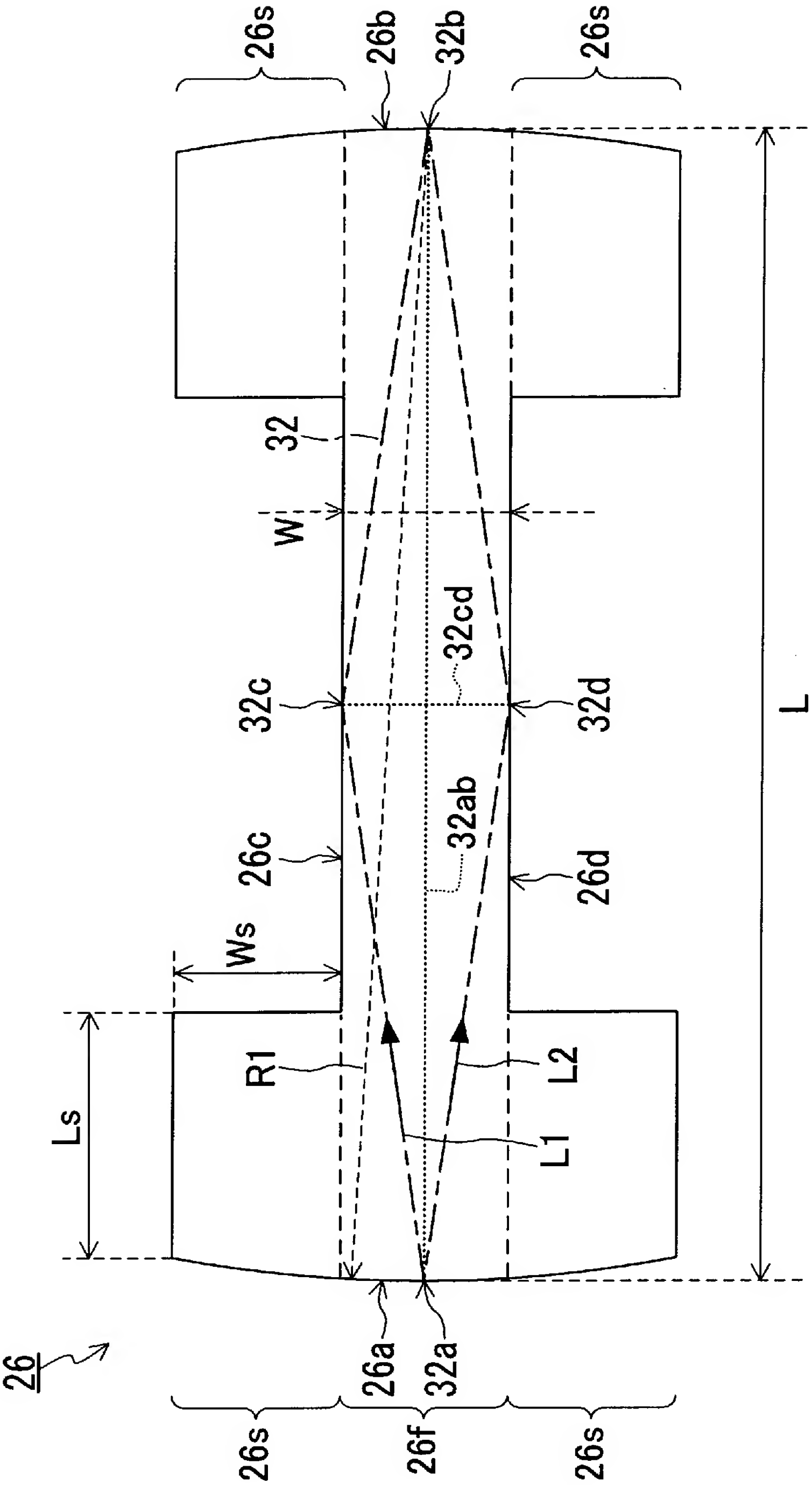


Fig. 3

[図4]

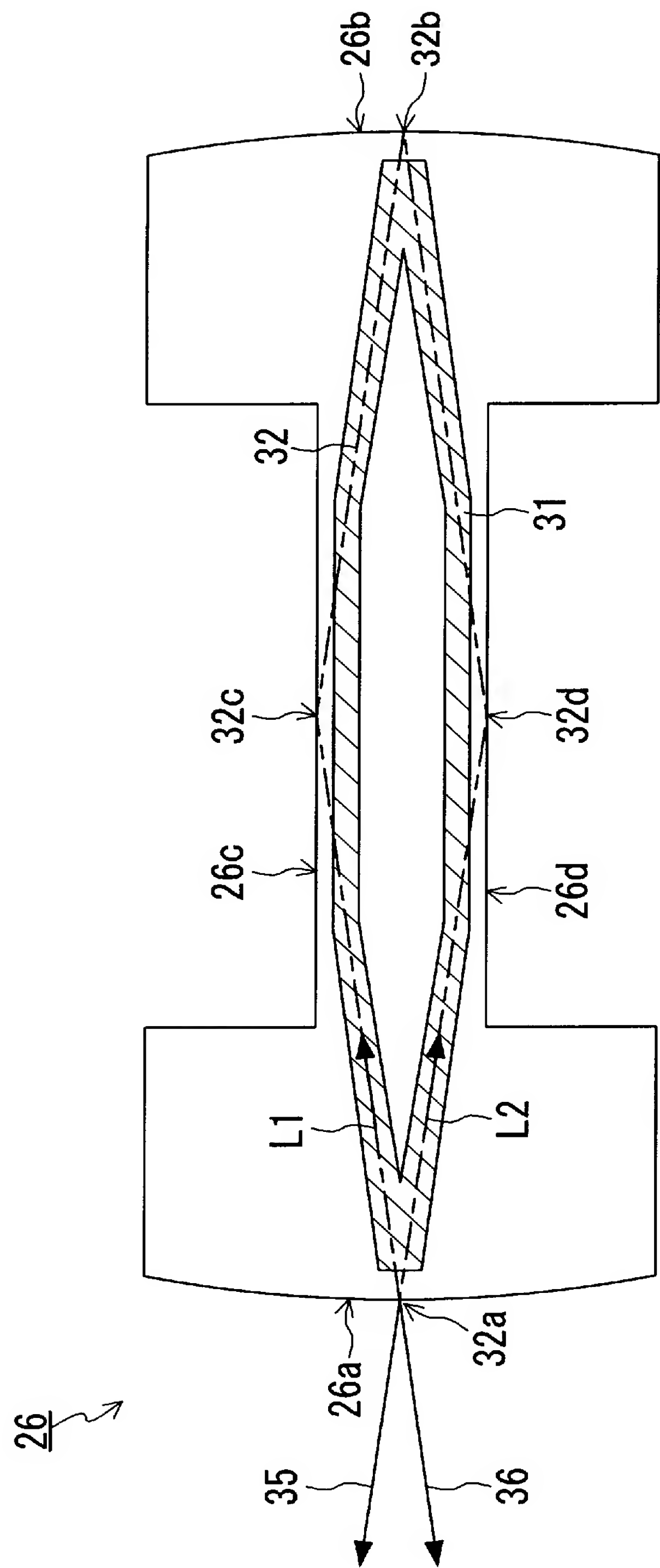


Fig. 4

[図5]

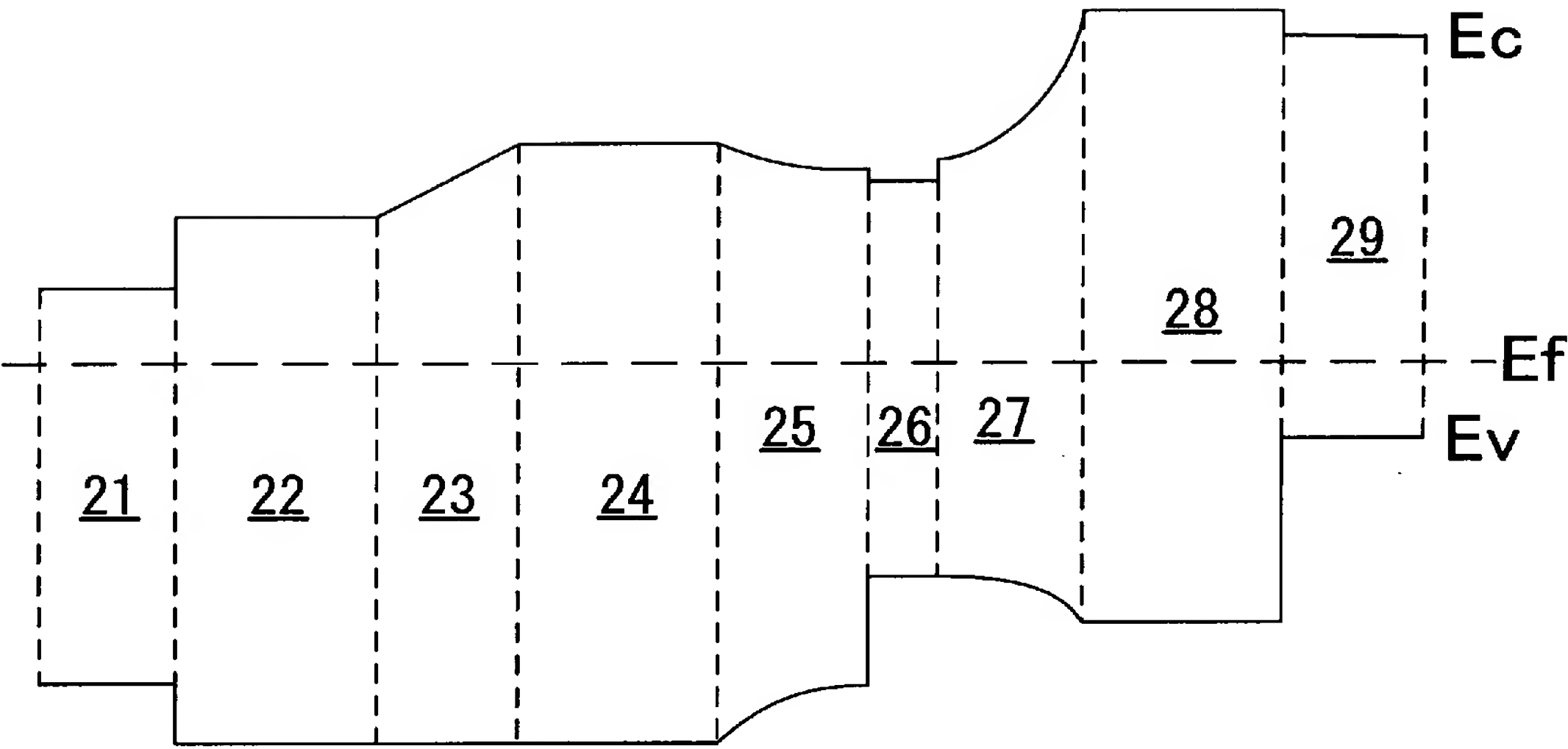


Fig. 5

[図6]

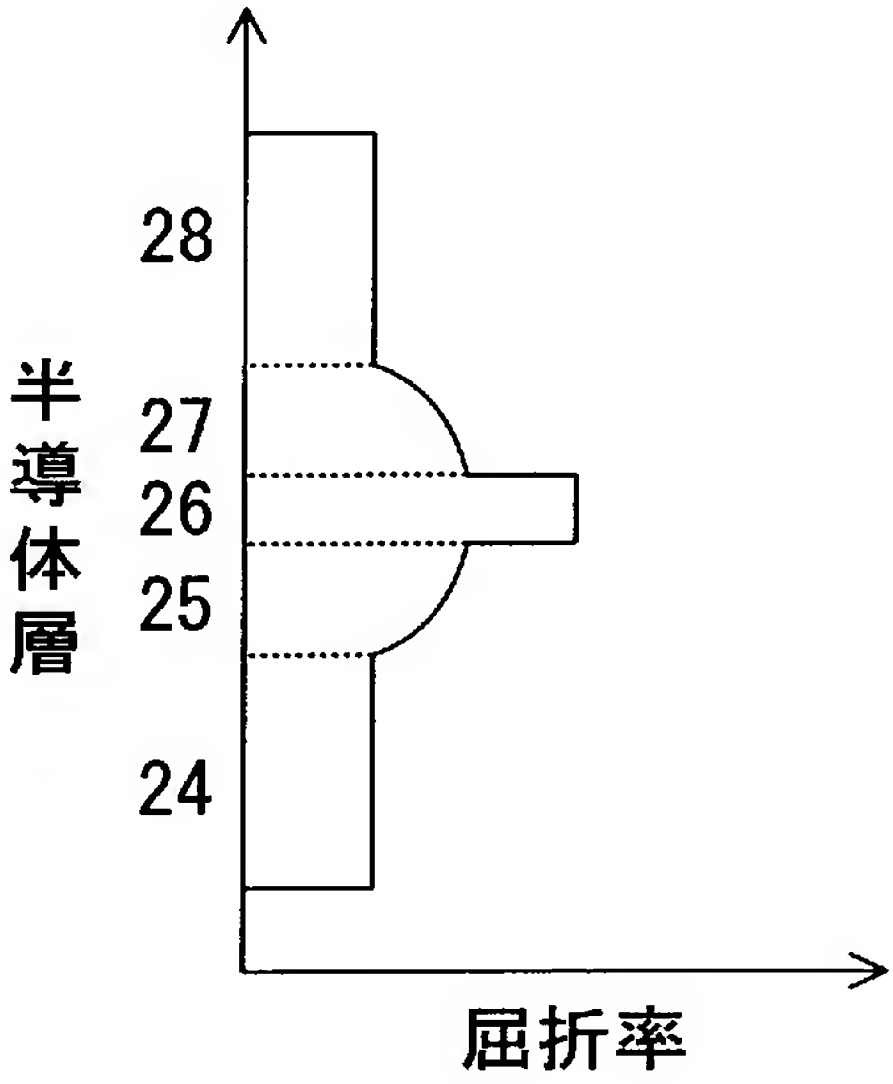


Fig. 6

[図7]

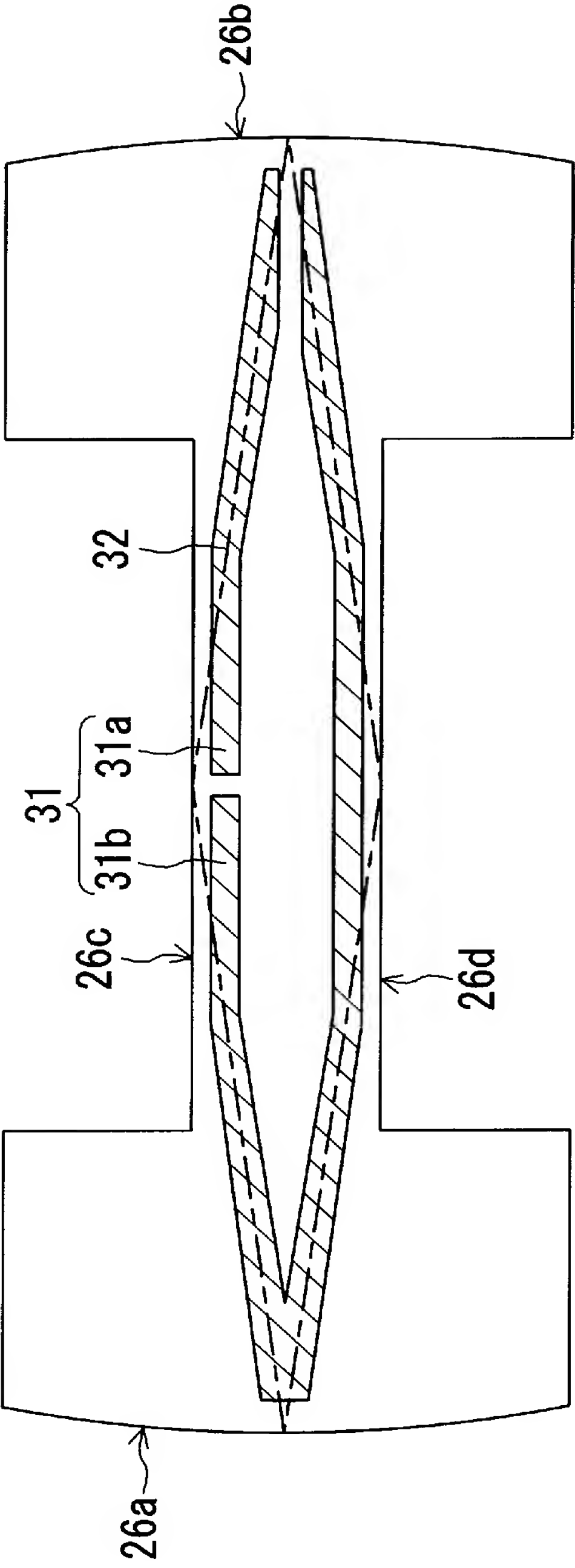


Fig. 7

[図8]

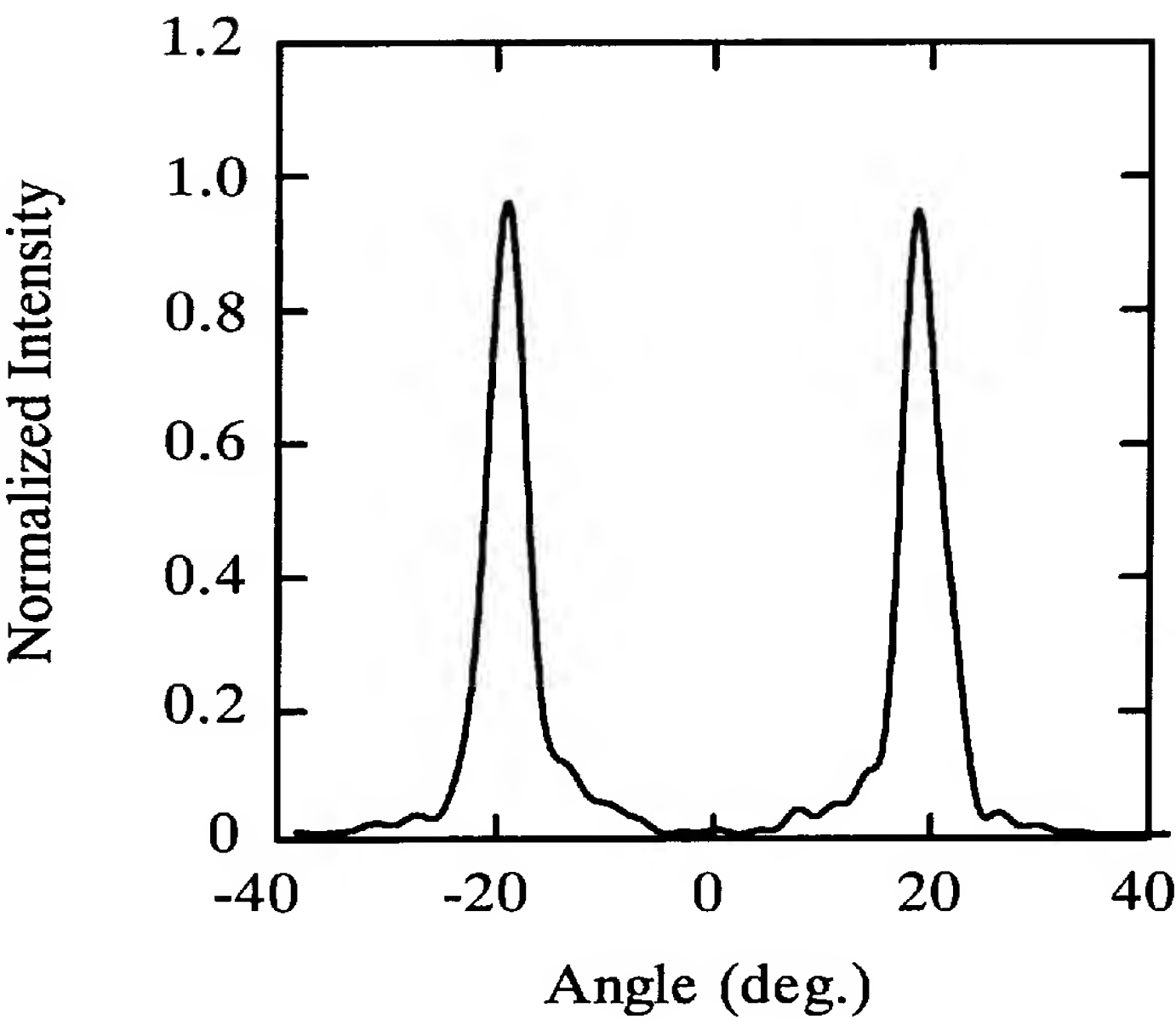


Fig. 8

[図9]

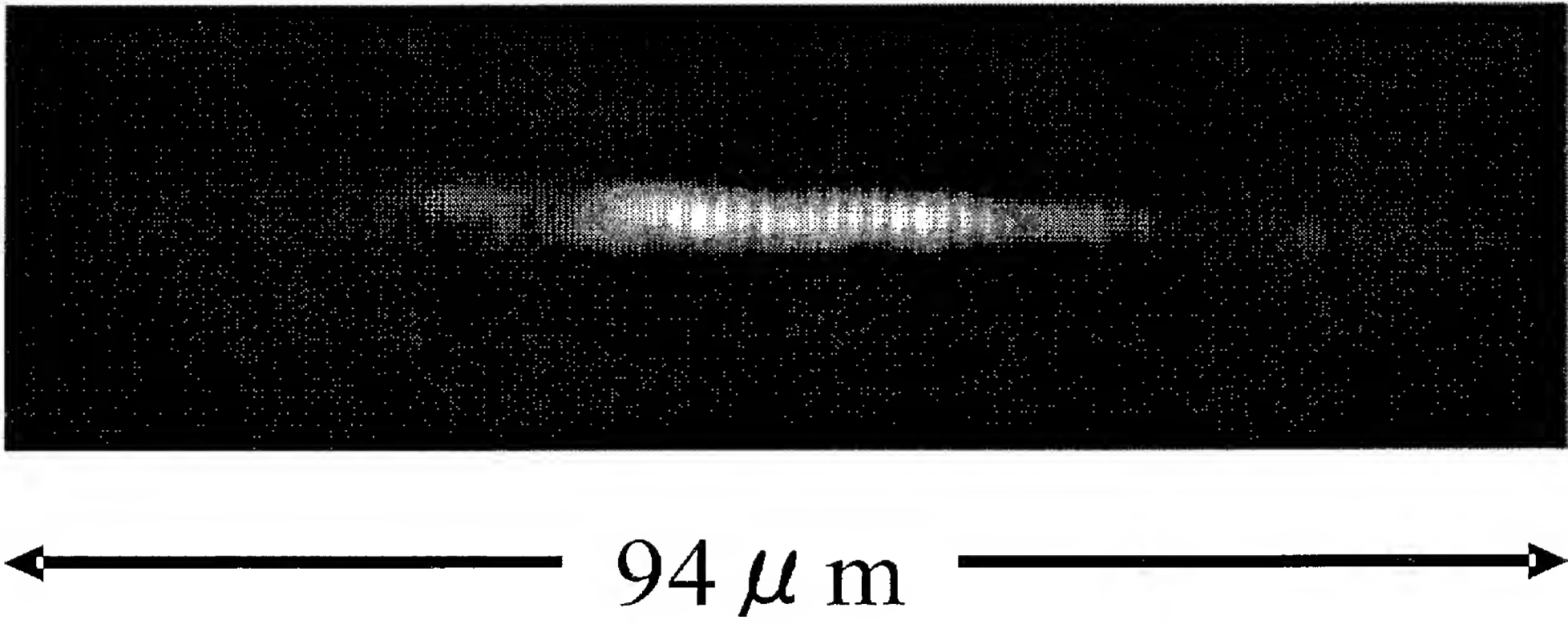


Fig. 9

[図10]

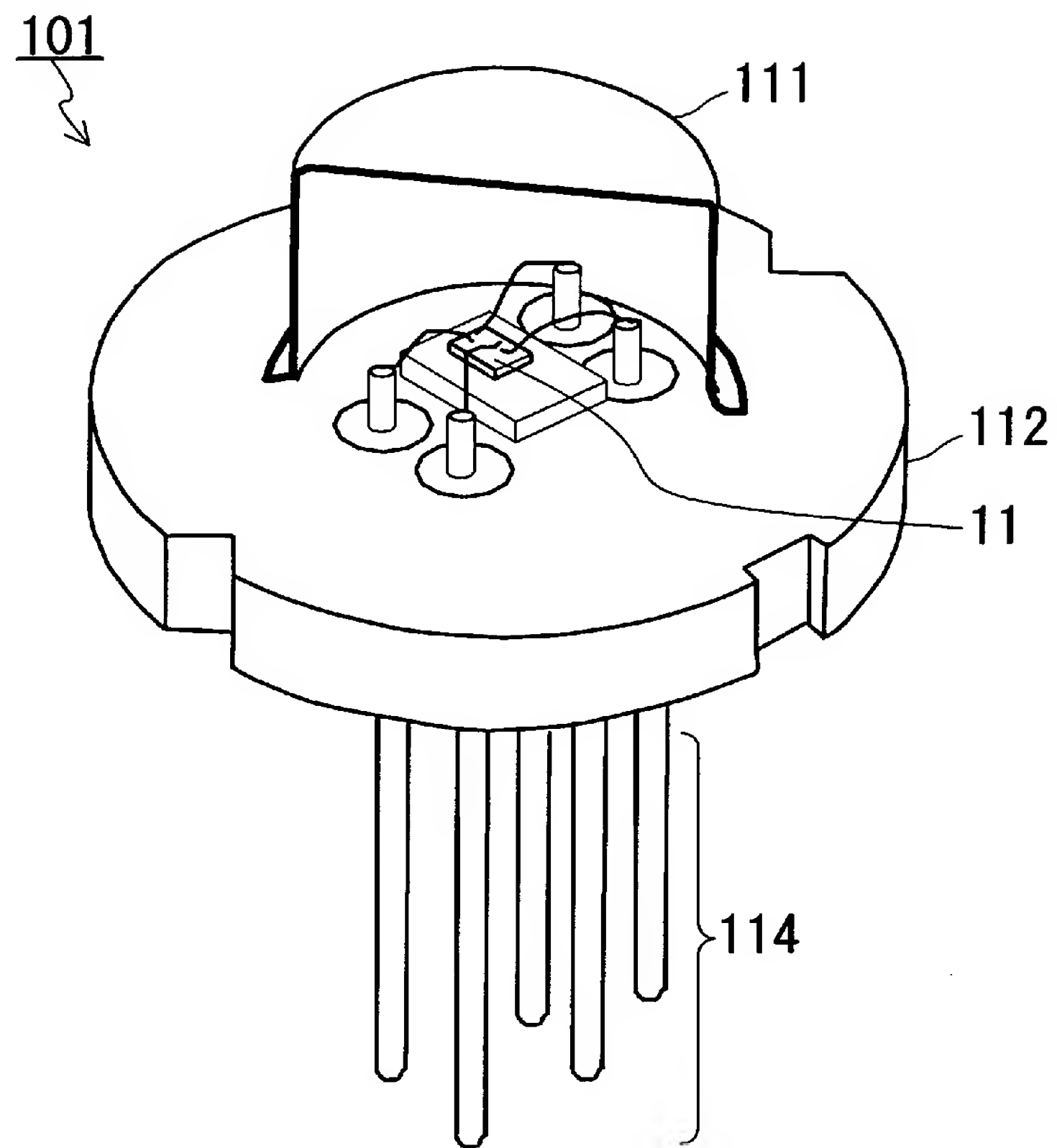


Fig. 10A

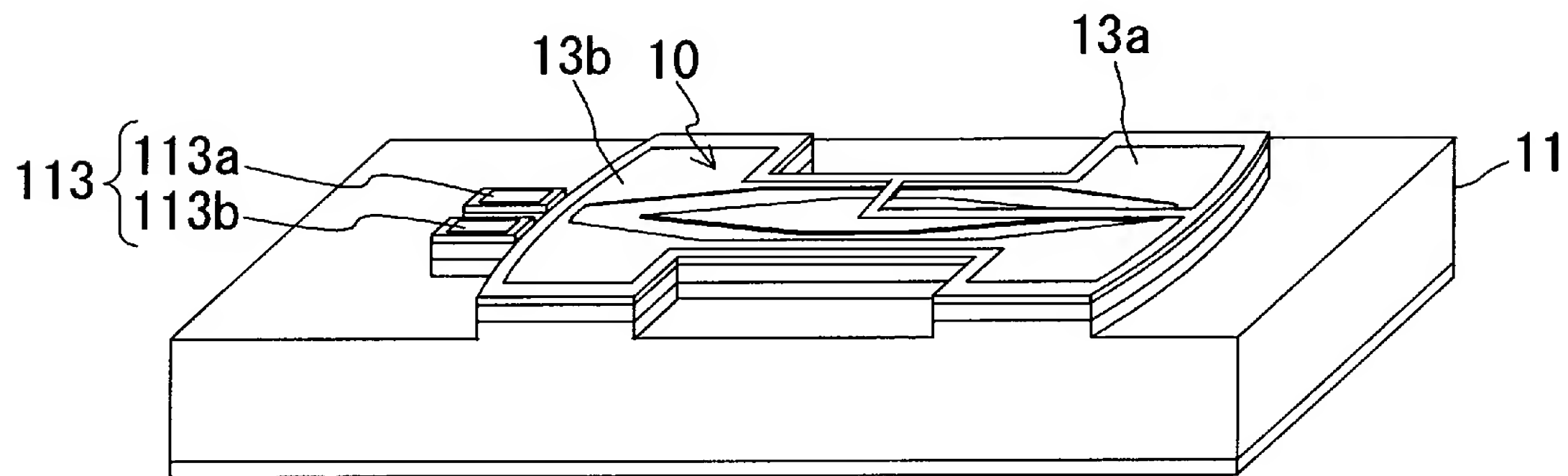


Fig. 10B

[図11]

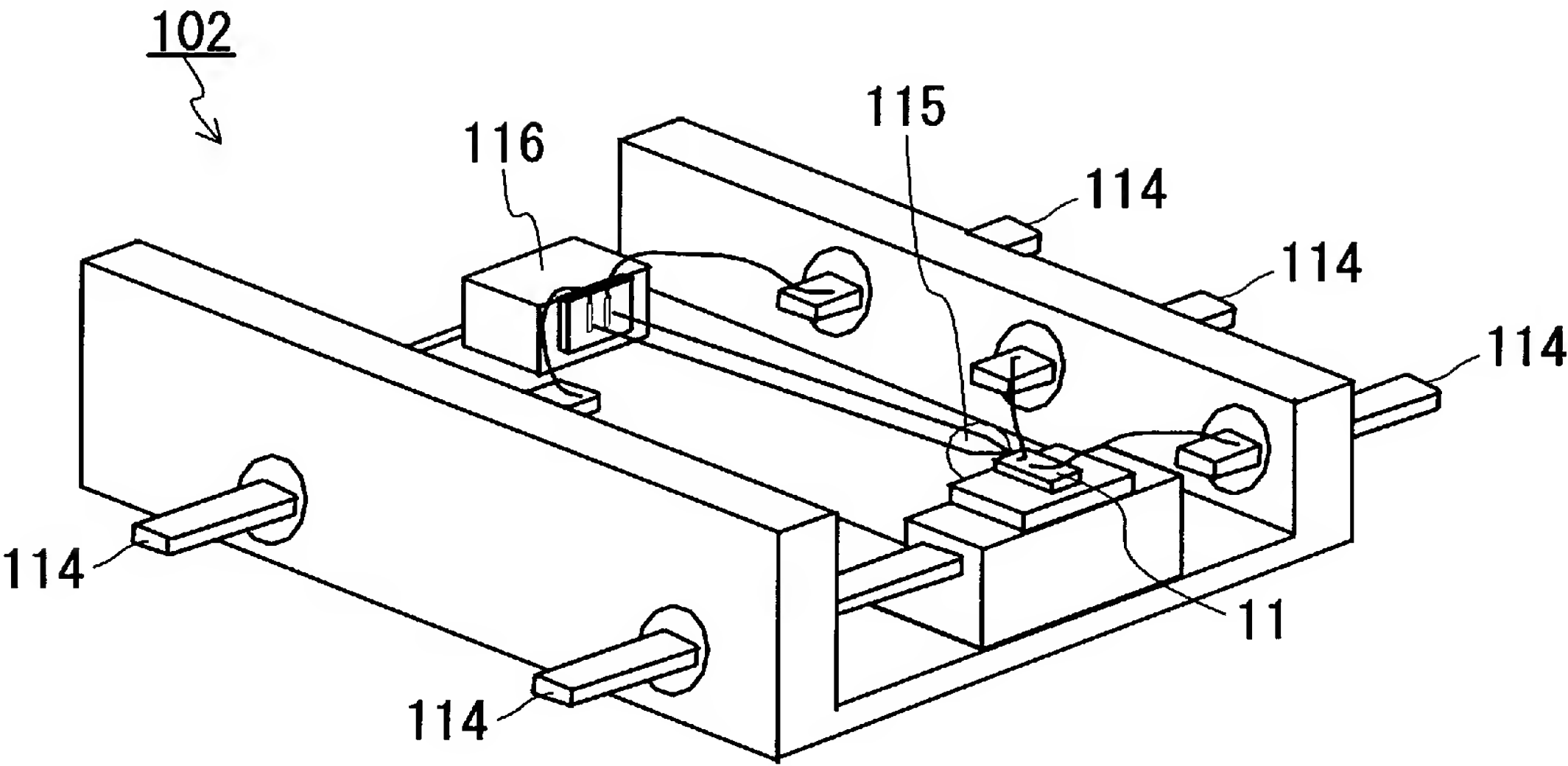


Fig. 11A

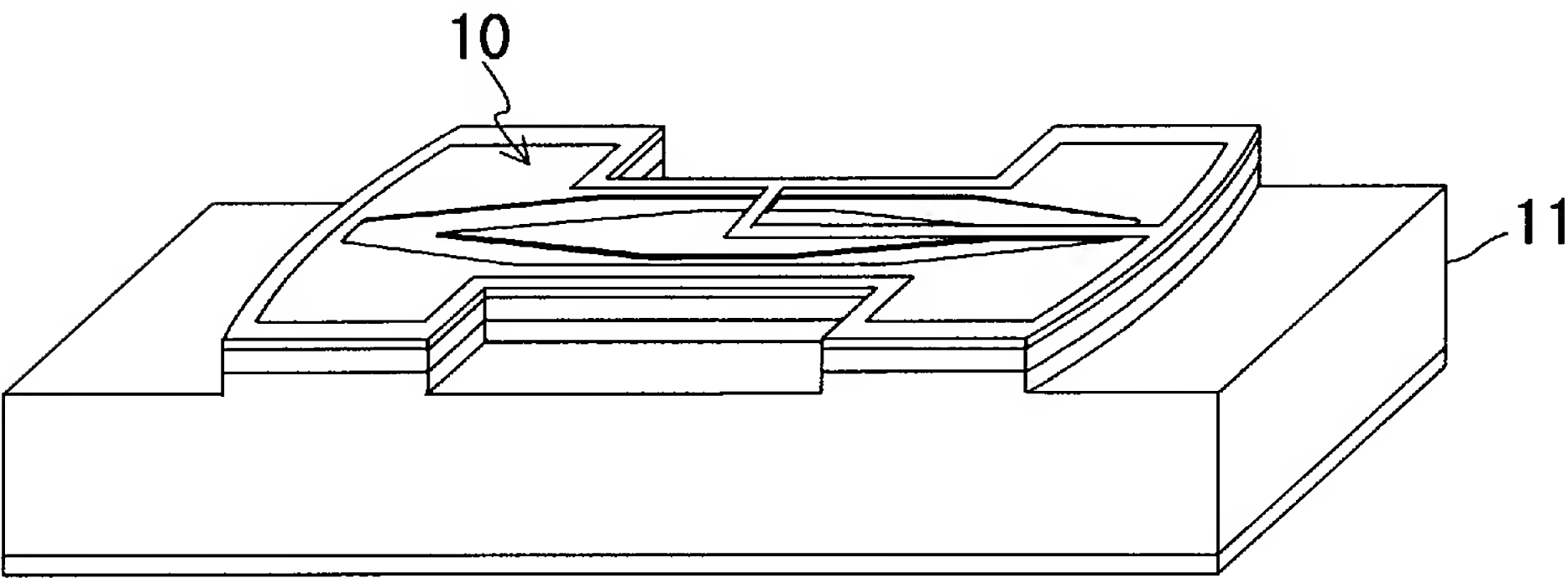


Fig. 11B

[図12]

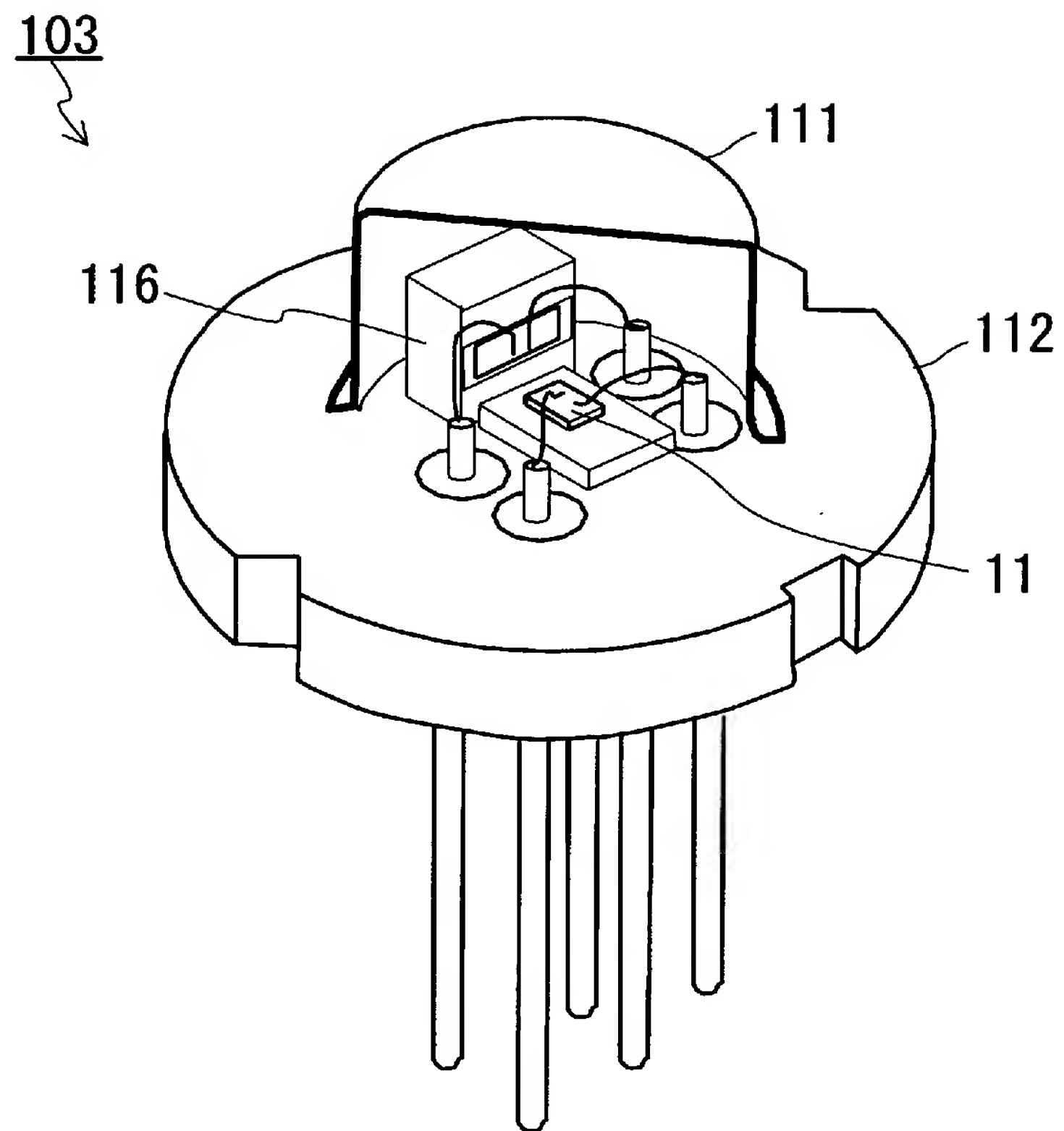


Fig. 12A

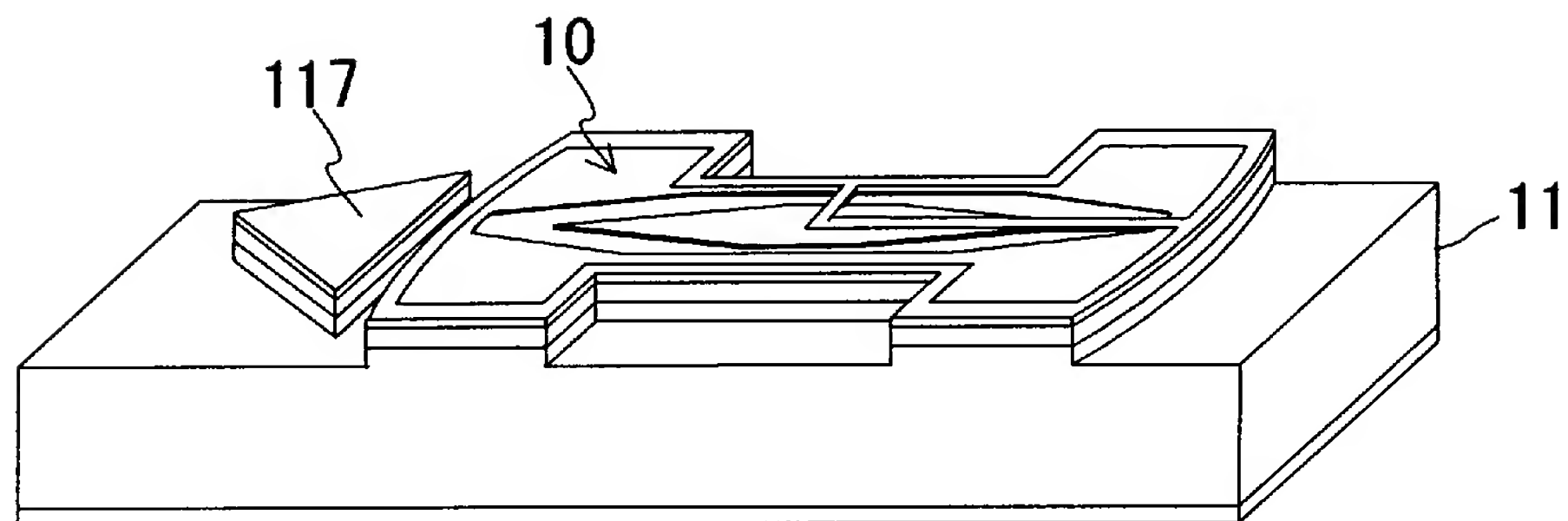


Fig. 12B

[図13]

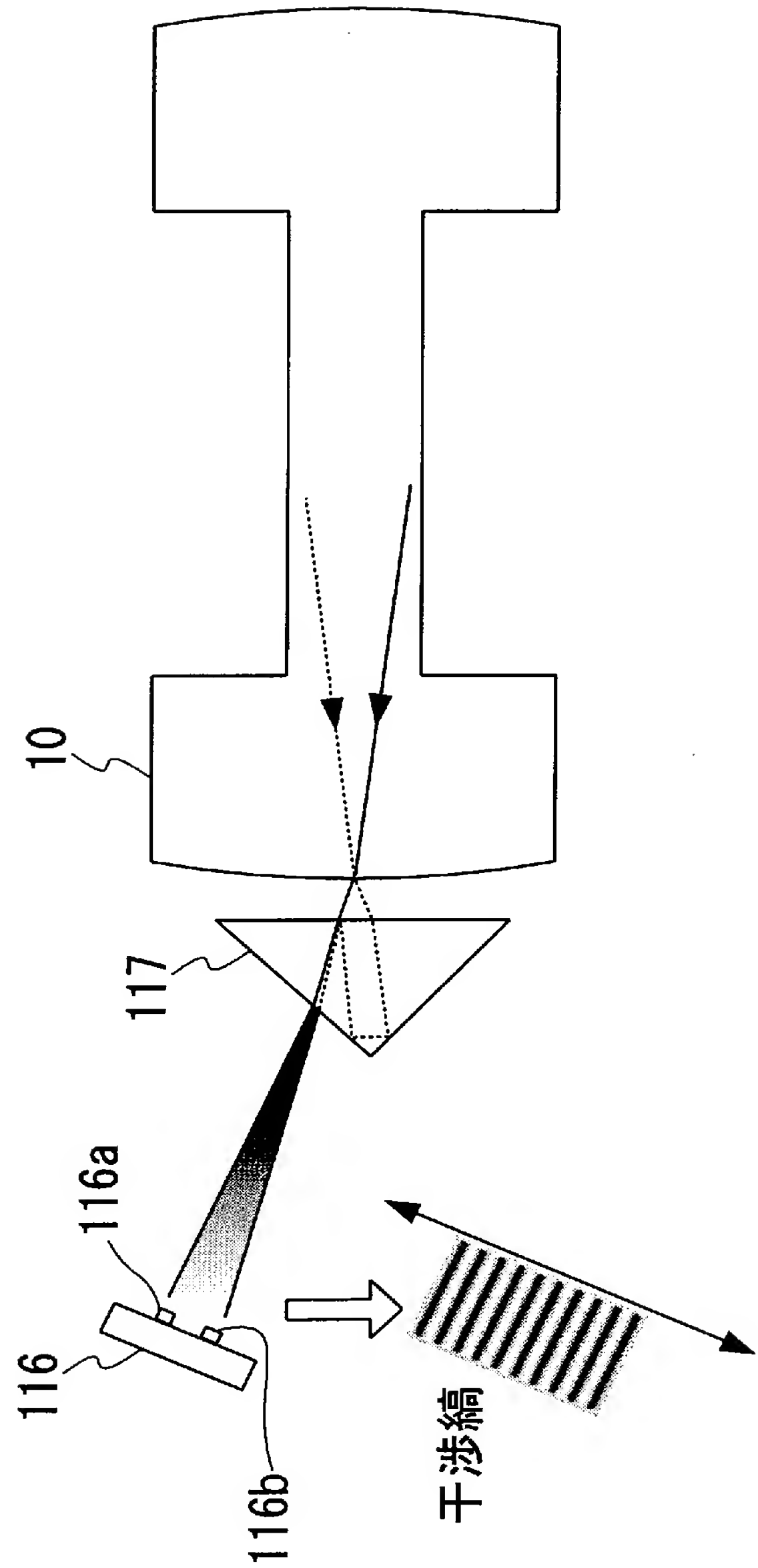


Fig. 13

[図14]

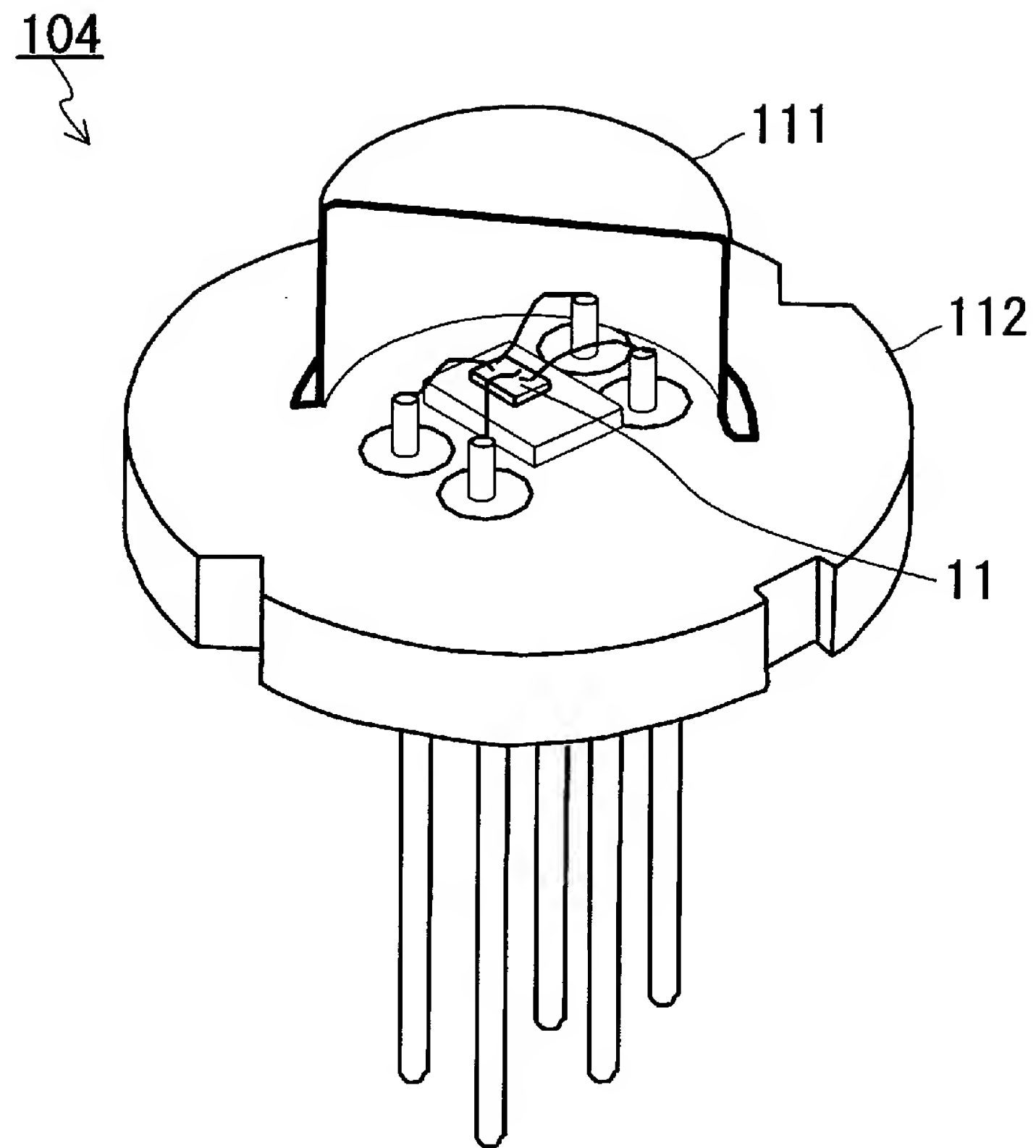


Fig. 14A

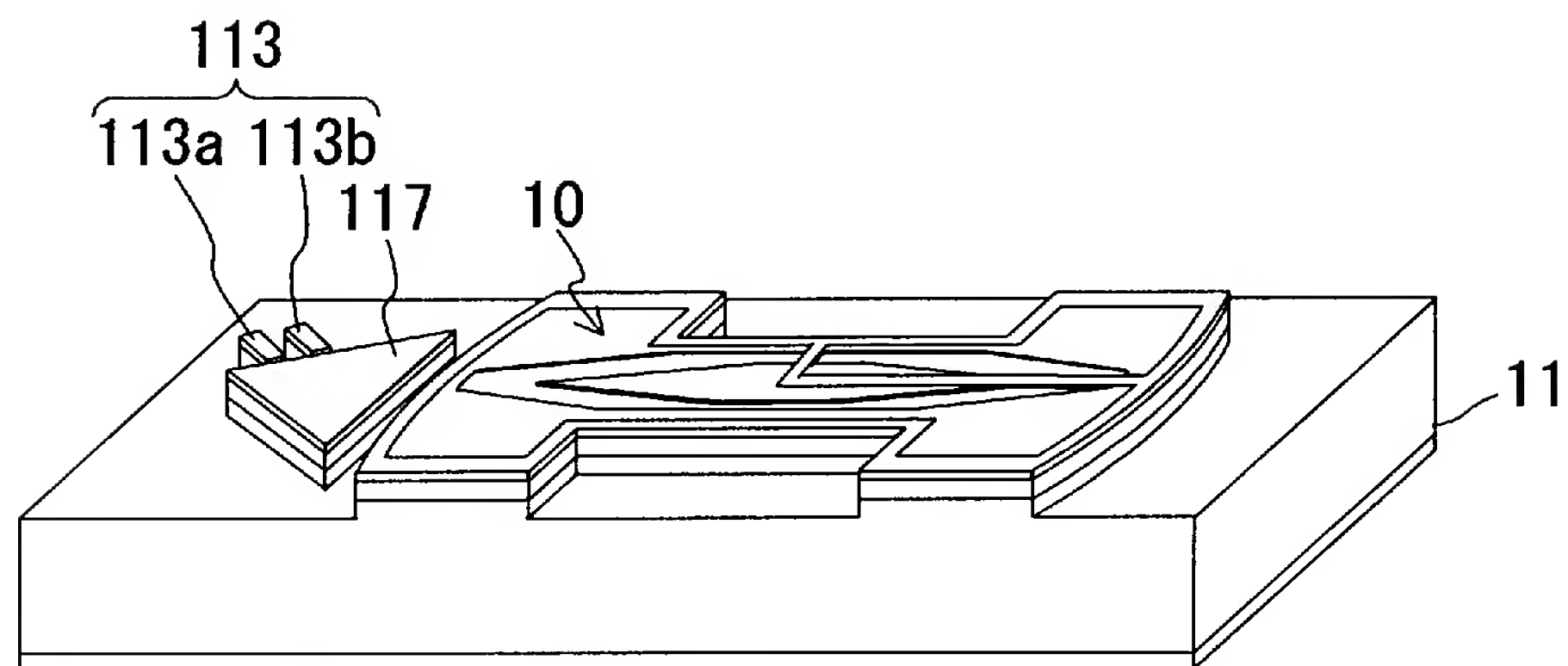


Fig. 14B

[図15]

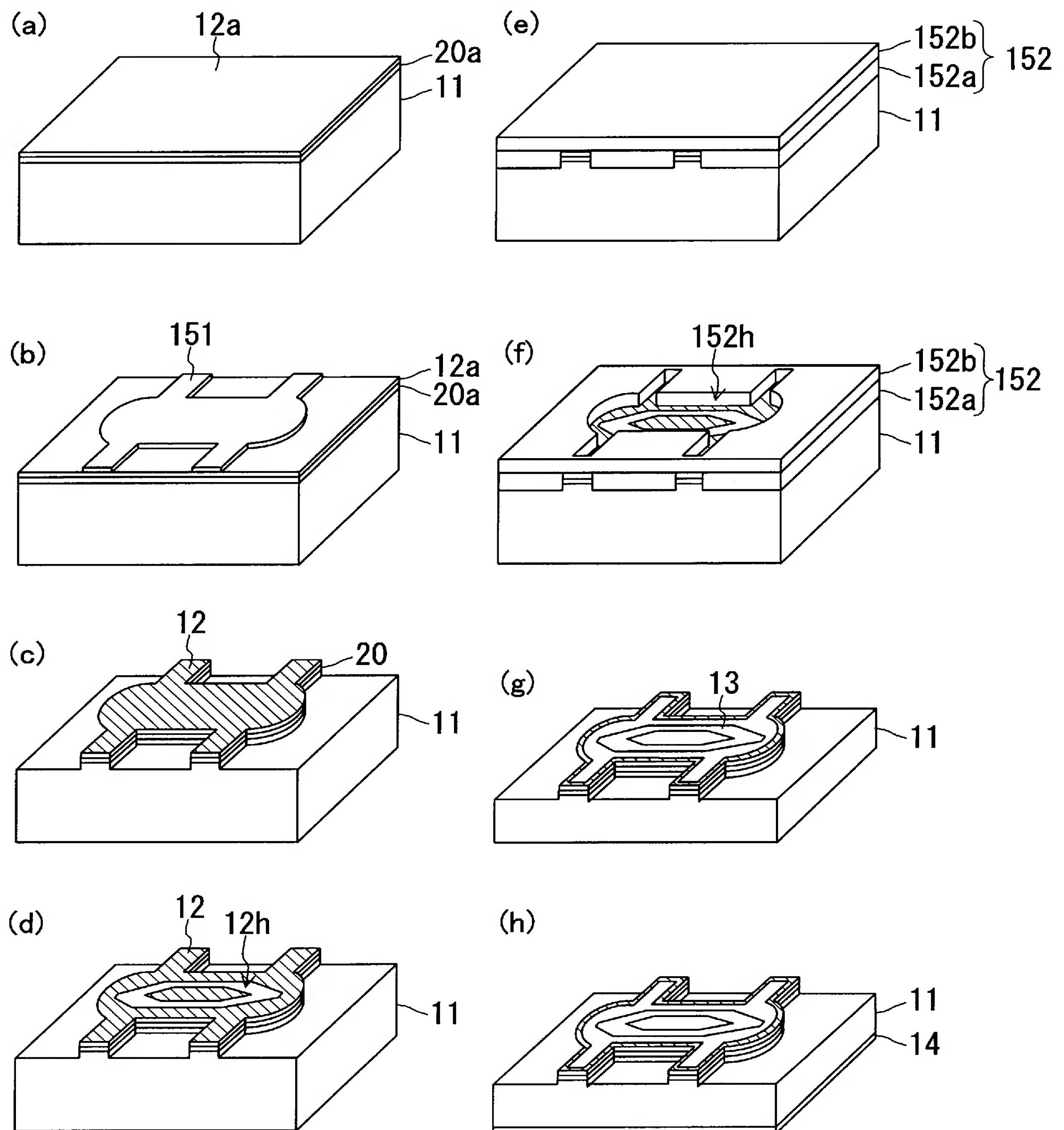


Fig. 15

[図16]

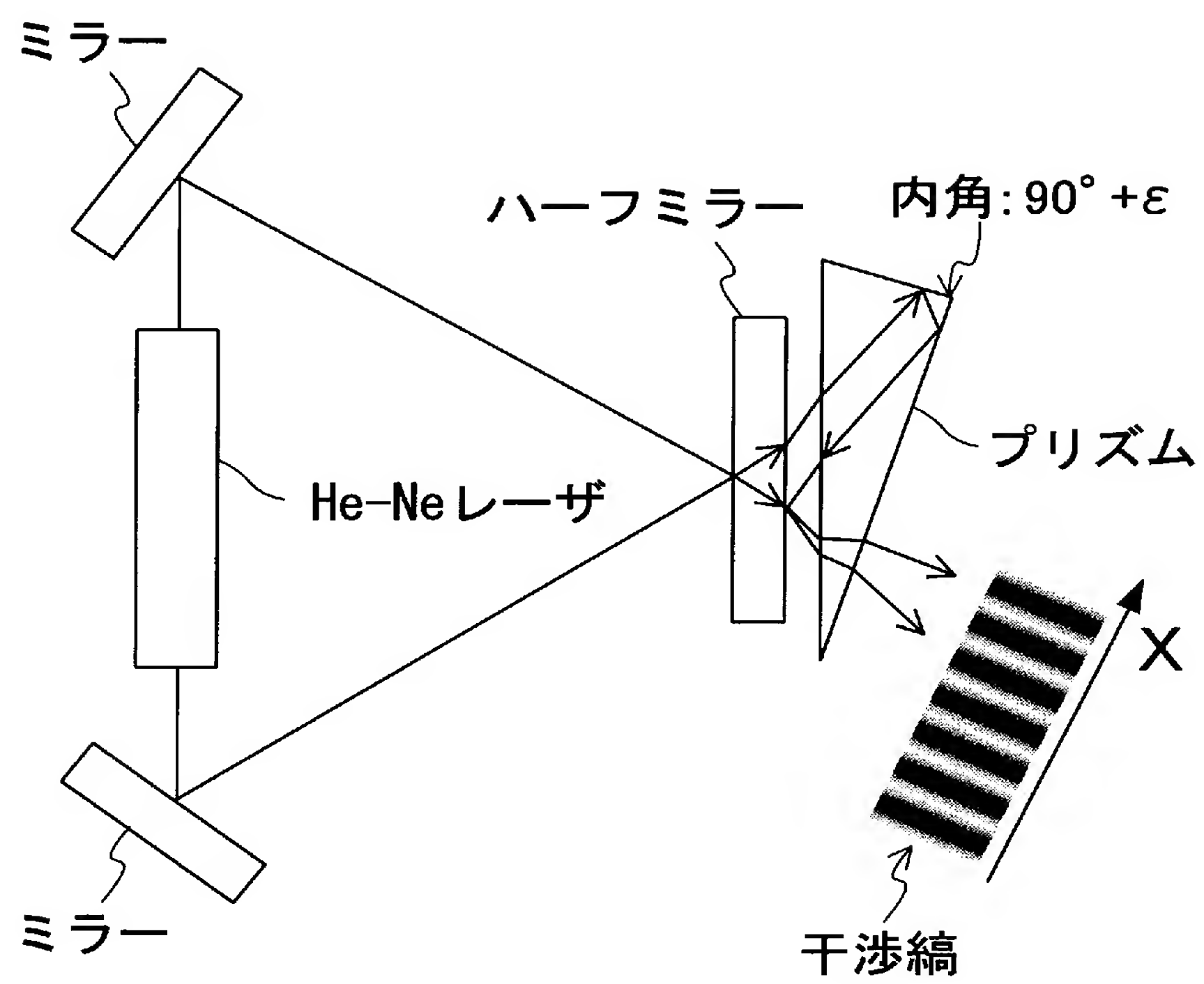


Fig. 16

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003525

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> G01C19/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> G01C19/64-19/72

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2005 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2005 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2005 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages   | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| Y<br>A    | JP 2002-344080 A (Canon Inc.),<br>29 November, 2002 (29.11.02),<br>Figs. 1 to 5<br>(Family: none)                                      | 1-8, 12-22<br>9-11    |
| Y<br>A    | JP 7-131123 A (Honda Motor Co., Ltd.),<br>19 May, 1995 (19.05.95),<br>Par. Nos. [0007], [0009], [0012]; Figs. 1 to 2<br>(Family: none) | 1-8, 12-22<br>9-11    |
| Y<br>A    | JP 7-22675 A (Honda Motor Co., Ltd.),<br>24 January, 1995 (24.01.95),<br>Figs. 4 to 5<br>(Family: none)                                | 3-8, 12-22<br>9-11    |



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&amp;"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 March, 2005 (16.03.05)

Date of mailing of the international search report

05 April, 2005 (05.04.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003525

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| Y         | JP 2000-230831 A (Canon Inc.),<br>22 August, 2000 (22.08.00),<br>Par. Nos. [0044] to [0046]; Figs. 5 to 8<br>(Family: none) | 8                     |
| Y         | JP 2002-344079 A (Canon Inc.),<br>29 November, 2002 (29.11.02),<br>Par. No. [0039] to [0040]; Fig. 3<br>(Family: none)      | 12-14                 |
| Y         | JP 2001-124564 A (Canon Inc.),<br>11 May, 2001 (11.05.01),<br>Fig. 3<br>(Family: none)                                      | 15-17                 |
| A         | JP 60-148185 A (Sumitomo Electric Industries,<br>Ltd.),<br>05 August, 1985 (05.08.85),<br>Fig. 4<br>(Family: none)          | 12-22                 |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int. Cl 7th G01C19/66

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int. Cl 7th G01C19/64-19/72

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2005年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2005年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2005年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求の範囲の番号   |
|-----------------|---|--------------------|
| Y<br>A          | JP 2002-344080 A(キヤノン株式会社) 2002.11.29, 第1図-第5図 (ファミリーなし)                          | 1-8, 12-22<br>9-11 |
| Y<br>A          | JP 7-131123 A(本田技研工業株式会社) 1995.05.19, 段落[0007], [0009], [0012], 第1図-第2図 (ファミリーなし) | 1-8, 12-22<br>9-11 |
| Y<br>A          | JP 7-22675 A(本田技研工業株式会社) 1995.01.24, 第4図-第5図 (ファミリーなし)                            | 3-8, 12-22<br>9-11 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日  
16.03.2005国際調査報告の発送日  
05.04.2005

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁 (I S A / J P)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
有家 秀郎

|     |         |
|-----|---------|
| 2 S | 9 4 0 2 |
|-----|---------|

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |   |                  |
|-----------------------|---|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| Y                     | JP 2000-230831 A(キヤノン株式会社) 2000.08.22, 段落[0044]-[0046], 第5図-第8図 (ファミリーなし) | 8                |
| Y                     | JP 2002-344079 A(キヤノン株式会社) 2002.11.29, 段落[0039]-[0040], 第3図 (ファミリーなし)     | 12-14            |
| Y                     | JP 2001-124564 A(キヤノン株式会社) 2001.05.11, 第3図 (ファミリーなし)                      | 15-17            |
| A                     | JP 60-148185 A(住友電気工業株式会社) 1985.08.05, 第4図 (ファミリーなし)                      | 12-22            |